
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.

Robert Loikasek

**Plausibilitätsprüfung der
Messmethode
„Expositionsbewertung
nichtionisierender Strahlung
mittels Einpunkt-Messung“**

Mittweida, 2016

DIPLOMARBEIT

Plausibilitätsprüfung der
Messmethode
„Expositionsbewertung
nichtionisierender Strahlung
mittels Einpunkt-Messung“

Autor:

Herr Ing.

Robert Loikasek

Studiengang:

Technische Informatik

Seminargruppe:

KT11wIA-F

Erstprüfer:

Herr Prof. Dr.-Ing. Volker Delport

Zweitprüfer:

Herr Dipl.-Ing. Werner Mothes

Betrieblicher Betreuer und Gutachter:

Herr Dipl.-Ing. Georg Karner

Einreichung:

Wien, 7.1.2016

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 8.8.2016

Bibliografische Angaben

Loikasek, Robert:

Plausibilitätsprüfung der Messmethode „Expositionsbeurteilung nichtionisierender Strahlung mittels Einpunkt-Messung“ - 2016.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Angewandte Computer- und Biowissenschaften, Diplomarbeit 2016

Referat

Für die Messung der Exposition der nicht ionisierenden Strahlung gibt es die verschiedensten Normen und nationale Vorschriften.

Die Diplomarbeit soll zeigen, ob die bisher oft angewandte Messmethode mittels eines einzigen Messpunktes (auch Einpunkt Methode genannt), auch plausible Ergebnisse ergibt. Der Messpunkt wird bestimmt durch Räumlichkeiten mit sensibler Nutzung (z.B. Schlafzimmer, Kinderzimmer,...), ebenso sollte immer ein Outdoor Messpunkt mitgemessen werden. Die in der Literatur beschriebenen Messmethoden wie z.B. Schwenkmessung, Mehrpunkt Messungen,... sind im Vergleich mit der Einpunkt Messung zeitlich und messtechnisch aufwendiger.

Um die einzelnen Messmethode zu prüfen, werden die ausgewählten Messmethoden durch Messungen miteinander verglichen und bewertet.

Folgende Messmethoden werden bewertet:

- EN8850 vorgeschlagene Flächenmessung mittels Drei- oder Sechspunktmessung und anschließender Mittelwertbildung der einzelnen Messwerte. Diese Messung wird mit und ohne Hochrechnung auf maximale Auslastung durchgeführt
- 24h Dauermessung mittels frequenzselektiven, auswertbaren Personen Dosimeter
- Einpunkt Messung mit und ohne Hochrechnung auf maximale Auslastung

Inhalt

Bibliografische Angaben	i
Referat.....	i
Inhalt.....	ii
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	vii
Abkürzungsverzeichnis	viii
1. Übersicht	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Kapitelübersicht	3
2. Grundlagen.....	3
2.1. Frequenzspektrum	4
2.2. Ionisierende und nicht ionisierende Strahlung	5
2.3. Elektromagnetische Wellen.....	6
2.4. Ausbreitungsbedingungen.....	9
2.5. Polarisierung der elektromagnetischen Welle	14
2.6. Quellen elektromagnetischer Felder	15
2.7. Auswirkungen auf den Körper	16
3. Grenzwerte der Immission	17
3.1. SAR spezifische Energieabsorptionsrate [W/kg].....	17
3.2. Basisgrenzwert.....	19
3.3. Abgeleitete Referenzwerte	22
4. Normen und Messvorschriften	23
4.1. ICNIRP	23
4.2. EN8850 Vor-Norm 2006.....	24
4.3. EN 50413.....	24
4.4. EN 50492.....	24

4.5.	EN 62311.....	25
4.6.	EU Ratsempfehlung	25
4.7.	Gesetzliche Vorschriften in Österreich.....	25
5.	Messgeräte.....	26
5.1.	Breitband-Messung	26
5.2.	Frequenzselektive-Messung	28
5.3.	Messantenne	29
5.4.	Dosimeter	31
6.	Funkdienste in Österreich	33
6.1.	Frequenzen und Dienste	33
6.2.	UKW Radio.....	35
6.3.	DAB/DAB+.....	39
6.4.	DVB-T / DVB-T2.....	43
6.5.	DECT.....	47
6.6.	TETRA.....	48
6.7.	Öffentlicher Mobilfunk.....	51
7.	Messungen.....	64
7.1.	Möglichkeiten der Bewertung und Extrapolation der Messergebnisse	64
7.2.	Funkkanal	76
7.3.	Schwankungen der Signale.....	79
7.4.	Kanalleistung bzw. Channel Power.....	86
7.5.	Crestfaktor	87
7.6.	Messunsicherheit	88
7.7.	Messmethoden.....	90
7.8.	Messreihe Einpunkt , Mehrpunktmessung und Dosimeter Messung.....	96
8.	Zusammenfassung und Ausblick	104
9.	Literatur und Quellen Verzeichnis	106
10.	Anlagen	110
10.1.	Anlage A.....	110
10.2.	Anlage B.....	116
11.	Selbstständigkeitserklärung	122

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zellenstruktur für Mobilfunkbasis-Stationen.....	1
Abbildung 2 Frequenzspektrum	4
Abbildung 3 Verlauf Strom-Spannung am Kondensator beim Schwingkreis in Eigenresonanz.....	7
Abbildung 4 Vom Schwingkreis zur Antenne	7
Abbildung 5 Wellenausbreitung im Nahfeld	8
Abbildung 6 Ausbreitung elektromagnetische Welle im Nah- und Fernfeld.....	10
Abbildung 7 Raumgebiete nach Entfernung	11
Abbildung 8 Leistungsflussdichte in Abhängigkeit zum Abstand.....	12
Abbildung 9 Vertikale und Horizontale Polarisierung	14
Abbildung 10 Empfangspolarisation und Sendepolarisation	15
Abbildung 11 SAR	17
Abbildung 12 Messkopf für die SAR Messung ESM 120 Fa. Maschek Elektronik	19
Abbildung 13 Grafik Referenzwerte E-Feld ICNIRP allgemeine Bevölkerung.....	23
Abbildung 14 Narda NBM550	27
Abbildung 15 Verschiedene Sonden für NARDA NBM550.....	27
Abbildung 16 Sonden nach Frequenzbereich Tabelle von Narda	28
Abbildung 17 Narda SRM3006	29
Abbildung 18 technische Näherung einer isotropen Antenne.....	30
Abbildung 19 Narda Messantennen isotrop und 1-achsig	31
Abbildung 20 passives Dosimeter der Fa. Mercurysafety.....	31
Abbildung 21 aktives Dosimeter der Fa. Quarta	31
Abbildung 22 Android App ExpoM-RF	32
Abbildung 23 Expositionswerte in Goolge Earth Darstellung.....	32
Abbildung 24 UKW MPX Signal	35
Abbildung 25 Ausbreitungskarte ORS Großleistungssender Kahlenberg	36
Abbildung 26 Antennensystem und Azimut Diagramm des ORS Sender Kahlenberg.....	37
Abbildung 27 Ausbreitungskarte ORS Kleinleistung Sender Ybbs	37
Abbildung 28 Antennensystem und Azimut Diagramm des ORS Sender Ybbs.....	38
Abbildung 29 UKW Spektrum Standort Wien	38
Abbildung 30 OFDM Träger im Frequenzspektrum	39
Abbildung 31 Spektrale- und Wasserfall Darstellung eines DAB+ Signal	40
Abbildung 32 Mehrwegempfang (multipath)	40
Abbildung 33 Aufteilung eines TV Kanals in 4 DAB Kanäle	41
Abbildung 34 Versorgungskarte der DAB+ Sender in Wien	42
Abbildung 35 DAB+ Sender DC Tower Wien.....	43
Abbildung 36 Spektrale Aufzeichnung eines DVBT Signal K24mit R&S ETL in Wien	44

Abbildung 37 KonstellationsdiagrammDVBT2 gemessen mit R&S ETL	44
Abbildung 38 Einzelsender in einem Gleichwellensendernetz	45
Abbildung 39 Indoor Repeater	46
Abbildung 40 DVB T/T2 Sender im Großraum Wien Stand Juli 2015	47
Abbildung 41 DECT Zeitschlitzze	48
Abbildung 42 DECT Mobilteil mit Basisstation.....	48
Abbildung 43 Frequenzaufteilung im TETRA Band	49
Abbildung 44 TDMA Zeitschlitzze	49
Abbildung 45 Spektrum Tetra 390-400 MHz im Großraum Wien	50
Abbildung 46 Antennen bei Tetra Basisstation	50
Abbildung 47 Spektrum GSM 900.....	53
Abbildung 48 Spektrum GSM 1800.....	53
Abbildung 49 Organisation der GSM Channels	54
Abbildung 50 Spektrum GSM 900.....	55
Abbildung 51 gemischte Nutzung des 1800 GSM Bandes	55
Abbildung 52 900MHz Frequenzspektrum und Refarming	56
Abbildung 53 1800MHz Frequenzspektrum und Refarming	56
Abbildung 54 UMTS FDD und TDD Frequenzbereiche	57
Abbildung 55 UMTS Basisstation mit 3 Sektoren Scramblingcode	58
Abbildung 56 UMTS Kanäle im 2100MHz Band	58
Abbildung 57 UMTS 2100 mit allen verfügbaren Frequenzen.....	59
Abbildung 58 Picozellen Antenne	59
Abbildung 59 OFDM Spektrum	60
Abbildung 60 Ressourcenblock Zuteilung bei LTE	61
Abbildung 61 800MHz Frequenzspektrum.....	61
Abbildung 62 800MHz Frequenzblockaufteilung	62
Abbildung 63 2600MHz Frequenzspektrum.....	62
Abbildung 64 2600MHz Frequenzblockaufteilung	62
Abbildung 65 MiMO Prinzip mit "m mal n" Pfaden.....	63
Abbildung 66 Aufbau einer LTE Antenne für 2 x 2 MIMO.....	64
Abbildung 67 DECT Signal im Zeitverlauf.....	65
Abbildung 68 GSM- TCH Kanäle und Kanäle mit Steuer Channel (BCCH Kanal)	66
Abbildung 69 GSM Messung mit Hochrechnung	67
Abbildung 70 Frequenzhopping bei GSM Anzeige „Maxhold“	68
Abbildung 71 Frequenzhopping bei GSM Anzeige „Clear Write“	68
Abbildung 72 Aufbau UMTS Kanal 2 Betreiber mit je 2 Sektoren	70
Abbildung 73 UMTS codeselektive Messung einer Basisstation.....	70
Abbildung 74 Spektrums Darstellung teil und vollbelegtes LTE Signal	72
Abbildung 75 Ressourcenblöcke bei LTE	73
Abbildung 76 Messpunkte für die Fadingmessung	77
Abbildung 77 Pegelverlauf der wichtigsten Funkdienste im zeitlichen Verlauf	79

Abbildung 78 Abweichung in % bei DVB T und DVB T2 Sender.....	80
Abbildung 79 Abweichung in % bei DAB+ und analog Radiosender.....	80
Abbildung 80 Abweichungen des DAB+ Signals bei 6 Minuten Messungen.....	83
Abbildung 81 Abweichung in % öffentlicher Mobilfunk und Tetra.....	85
Abbildung 82 Leistungsmessung bei breiten Signalen	86
Abbildung 83 Leistungspegelmessung von Signalen größer als die Messbandbreite	87
Abbildung 84 Crestfaktor bei OFDM Signalen	88
Abbildung 85 Wahrscheinlichkeit der Standard 65% und der Erweiterten 95% Unsicherheit.....	89
Abbildung 86 Messkorrektur in Abhängigkeit des S/N.....	90
Abbildung 87 Messpunkte nach EN8850	92
Abbildung 88 Frequenzbereiche des ExpoM-RF	93
Abbildung 89 Unterscheidung Sektor und adaptive Antennen	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Berechnung Entfernung Nah und Fernfeld	11
Tabelle 2 Beispiele Fernfeld Entfernung	12
Tabelle 3 Auswirkungen der SAR Ganzkörper	20
Tabelle 4 Sicherheitsfaktor für SAR	21
Tabelle 5 SAR Allgemeinbevölkerung.....	21
Tabelle 6 abgeleitete Referenzwerte für die allgemeine Bevölkerung (10 MHz bis 300 GHz)	23
Tabelle 7 Funkdienste in Österreich	35
Tabelle 8 Frequenzen im VHF Band III.....	41
Tabelle 9 Übersicht der Generationen beim öffentlichen Mobilfunk	52
Tabelle 10 UMTS Hochrechnung mit den Werten aus Abbildung 73	71
Tabelle 11 LTE Hochrechnung durch codeselektive Messung.....	74
Tabelle 12 Übersicht über die Messmethoden zur Hochrechnung	76
Tabelle 13 erweiterte Messunsicherheit SRM-3006-Grundgerät.....	89
Tabelle 14 Service Table "österreichische Funkdienste UL&DL	94
Tabelle 15 Messroutine Exposition	95
Tabelle 16 Anzeige Messbereichsüberschreitung des Messgeräts Narda-SRM3006	95

Abkürzungsverzeichnis

BCCH	Broadcast control channel – Organisations Kanal bei GSM
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben - Blaulichtfunk
BUWAL	Schweitzer Bundesamt für Umwelt
CDMA	Code Division Multiple Access - Zugriffsverfahren
CDMA	Code Division Multiple Access
CHP	Channel Power – Kanal Leistung
COFDM	Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – codierte Übertragungsverfahren mittels Vielträger-Technologie dient dem Fehlerschutz
DAB	Digitales Audio Broadcast – Digitales Radio
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications - Schnurlostelefon
EMF	Elektromagnetische Felder
EMVU	Elektromagnetische Verträglichkeit Umwelt
ERP	Effective radiated power – abgestrahlte Leistung im Vergleich zu einem Dipol
ETSI	Europäische Institut für Telekommunikationsnormen; European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequenz Division Duplex
FDD	Frequenz Division Duplex
FM	Frequenz Modulation
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying – Phasenmodulation mit konstanter Amplitude
GPRS	General Packet Radio Service – GSM paketorientierte Datenübertragung
GSM	Global System for Mobile Communications –
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data – GSM Datenübertragungsstandard
HSPA	High Speed Packet Access – Weiterentwicklung von UMTS
ICNIRP	internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
ITU	International Telecommunication Union- Internationale Fernmeldeunion
kHz	Hz steht für Herz (=Schwingungen pro Sekunde) k...Kilo entspricht $10^3=1000$
LOS	Line of sight – Sichtverbindung
LTE	Long Term Evolution – Mobilfunk der 4. Generation
MCCH	Main Control Channel – Organisationskanal bei Tetra
METAS	Schweizer Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS
MHz	Ein Vielfaches der Einheit Herz M...Mega entspricht $10^6 \text{ Hz} = 1\,000\,000 \text{ Hz}$
MIMO	Multiple Input - Multiple Output
MIMO	Multiple Input - Multiple Output
ms	Millisekunde entspricht 0,001 Sekunde
NLOS	Non line of sight – Empfangsverbindungen ohne direkten Sichtkontakt zum Sender

OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing – orthogonales Frequenzmultiplexverfahren - Multicarrier Modulationsverfahren
P-SS	Primary Synchronisation Signal – Typ eines LTE Ressourcenblock
PTT Taste	Push to talk – Sprech taste bei Funkgeräten
RDS	Radio Data System Information
RMS	Root Mean Square – Effektivwert
RS	Referenzsignale – Typ eines LTE Ressourcenblock
RTR	Rundfunk und Telekommunikations Regulierungs-GmbH
S/N	Signal Noise – Signal Rausch Verhältnis
SC–FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
S-SS	Secondary Synchronisation Signal – Typ eines LTE Ressourcenblock
TCH	Traffic Channel – Sprechkanal beim GSM Standard
TDD	Time Division Duplex – Duplexverfahren
TDMA	Time Division Multiplex Access – Multiplexverfahren für den gemeinsamen Zugang auf einen Medium über Zeitschlitz
TETRA	Terrestrial trunked Radio - Bündelfunk
THz	Ein Vielfaches der Einheit Herz T...Terra entspricht 1E9 Hz = 1000 MHz
TKG	österreichische Telekommunikationsgesetz
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System - Mobilfunk der 3. Generation
VoLTE	Voice over LTE – Sprachübertragung über das LTE Netz
WHO	Weltgesundheitsorganisation

1. Übersicht

1.1. Motivation

Kommunikation über Funk ist in unserer heutigen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Die Übertragungen finden dabei bidirektional, d.h. Geräte senden und empfangen wie z.B. bei der Mobiltelefonie oder unidirektional wie es bei Radio- oder Fernsehsender, so genannte Broadcast Sender, vorkommt statt. Um immer mehr Teilnehmer mit immer höheren Bandbreiten versorgen zu können muss, da das Frequenzspektrum beschränkt ist und freie Frequenzen rar sind, der Versorgungsradius der einzelnen Sendestationen (auch Basisstation genannt) verkleinert werden. Dies hat den Vorteil, dass das gleiche Frequenzspektrum an einer anderen Stelle wieder verwendet werden kann (siehe Abb. Abbildung 1 Zellenstruktur für Mobilfunkbasis-Stationen).

Dabei treten unter anderem zwei wesentliche Effekte auf.

- a. Durch die Verkleinerung des Versorgungsradius, auch Zelle genannt, kann der gleiche Kanal an anderer Stelle wiederverwendet werden.

Abbildung 1: gleiche Buchstaben bzw. Farben stehen für gleiche Senderfrequenzen

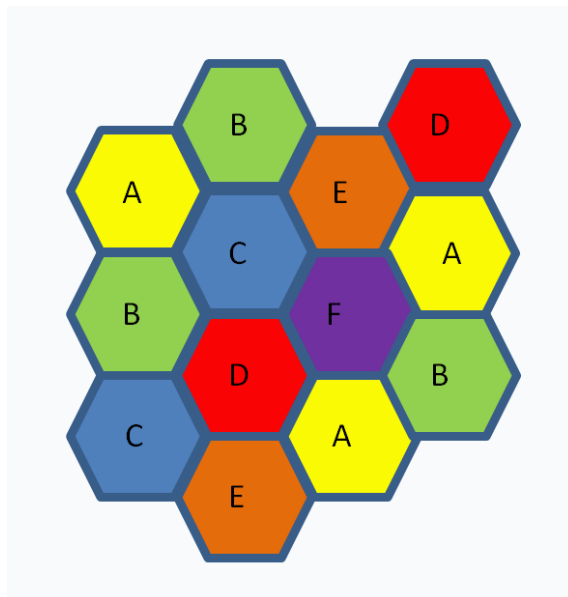


Abbildung 1 Zellenstruktur für Mobilfunkbasis-Stationen

- b. Aufgrund der kleineren Zellenradien ist es notwendig, die Anzahl der Basisstationen zu erhöhen, um die gleiche Fläche zu versorgen.

Die bessere Versorgung wird von der Bevölkerung gefordert und ist technologisch notwendig. Jedoch bewirkt die sichtbare Vermehrung der Antennenanlagen ein negatives Gefühl bei den

meisten Menschen. Seitens der Bevölkerung wird der weitere Ausbau als gesundheitsbelastend betrachtet und daher abgelehnt.

Sende bzw. Empfangsstationen für Mobiltelefonie, Basisstationen genannt, sind der in der Bevölkerung am meisten wahrgenommene Anteil von Sendestationen. Zusätzlich werden auch noch immer mehr Sender-Standorte für DAB/DAB+ (Digitales Radio), DVB-T/DVB-T2 (Digitales Fernsehen), Tetra/BOS (zum Beispiel digitaler Behördenfunk),... in Betrieb genommen.

1.2. Zielsetzung

Um die Bevölkerung vor zu hoher Strahlenbelastung zu schützen, wurde von der Europäischen Union Grenzwerte für die elektromagnetische Strahlung definiert. Normungsorganisationen und Prüfanstalten haben dazu die verschiedensten Methoden für die Messung der Strahlung entwickelt. In Österreich sind Einpunkt Messungen die am häufigsten verwendete Messmethode für Expositionsmessungen. Die Diplomarbeit soll dazu dienen um festzustellen, ob diese „einfache“ Messmethode gegenüber den weitaus aufwändigeren, in der Norm EN8850 beschriebenen Messanwendungen zulässig ist. Es soll darüber hinaus geprüft werden, ob die Abweichungen der Ergebnisse so groß sind, dass diese Methode eine unzureichende oder gar zu unterbewertete Messmethode darstellt. Dazu werden die unterschiedlichen Messmethoden angewandt und geeignet ausgewertet. Eine bewertete Gegenüberstellung der Messergebnisse soll die Anwendbarkeit der Einpunkt Messmethode aufzeigen.

Eine weitere Frage ist die Notwendigkeit auf Hochrechnung zum Maximalwert, bei jenen Sendern die aufgrund der Auslastung eine unterschiedliche, zeitlich gemittelte Senderleistung aufweisen. Diese Extrapolation ist je nach Art der Aussendung unterschiedlich. Weiters soll auch die Abhängigkeit der Senderleistung von Sendestationen von der Tageszeit und somit der Auslastung der Mobilfunkzelle betrachtet und bewertet werden.

Zur Beurteilung der Zulässigkeit von Einpunkt Messungen wurde ein definiertes Messszenario erstellt und dieses an verschiedensten Messpunkten durchgeführt.

Das Szenario definiert folgende Parameter:

- die Expositionsmessung wurde als Einpunkt Messung bzw. als Drei- oder Sechspunkt Messung durchgeführt
- die Messorte wurden so gewählt, dass sie jene Orte repräsentieren, an denen sich die Bewohner gewöhnlich aufhalten. So wurde unter anderem im Schlafzimmer, Wohnzimmer, Kinderzimmer und wenn vorhanden auch im Garten gemessen
- die Messung fand als frequenzselektive Messung im Bereich von 27 MHz bis 3 GHz mittels isotroper Antenne statt.

Zum Vergleich wurden die Probanden mit einem frequenzselektiven Dosimeter ausgestattet. Dieses zeichnet die Exposition kontinuierlich über 24 Stunden auf.

Durch ein erarbeitetes Bewertungssystem in Excel konnten die Messergebnisse gegenübergestellt werden.

1.3. Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit wurde in 7 Kapitel unterteilt

Im Kapitel 2 werden die fachtechnischen Grundlagen von elektromagnetischen Feldern besprochen, sowie die Auswirkungen dieser Felder auf das biologische Gewebe.

Kapitel 3 widmet sich der Definition der Grenzwerte bei der Exposition.

Die wesentlichsten Normen und Messvorschriften für den Bereich der nicht ionisierenden Strahlung werden in Kapitel 4 beschrieben.

Mit welchen Messgeräten die Messungen möglich sind und welche Unterschiede sie aufweisen, damit beschäftigt sich Kapitel 5.

Einen Überblick auf die wichtigsten Senderarten und deren technische Beschreibung ist Thema des Kapitels 6.

Das Kapitel 7 befasst sich nun mit der eigentlichen Messung, wobei auch Besonderheiten der unterschiedlichen Sendarten wie die zeitlichen Feldstärkeunterschiede beschrieben werden.

Das Ergebnis dieser Diplomarbeit wird in Kapitel 8 zusammengefasst und mögliche Auswirkungen für eine Messvorschrift beschrieben.

2. Grundlagen

Exposition kommt aus dem Lateinischen und bedeutet „einer bestimmten Einflussgröße ausgesetzt sein“. Die Aussetzung kann allgemein alle Umwelteinflüsse betreffen der ein Lebewesen ausgesetzt ist. Dazu zählen alle biologischen, physikalischen und chemischen Einflüsse. Dabei ist es unabhängig, ob die Wirkung der Exposition fördernde oder negative Auswirkungen aufweist. Im Bereich der EMVU (Elektromagnetische Verträglichkeit Umwelt) werden nur die Wirkungen der elektromagnetischen Felder auf den Organismus untersucht.

Elektromagnetische Felder kommen, in künstlich geschaffener und natürlicher Form, überall in unserer Umgebung in unterschiedlichster Intensität vor. Wir sind daher auch ständig dieser Strahlung ausgesetzt. Der Begriff EMF (Elektromagnetische Felder) oder auch EMVU (Elektromagnetische Verträglichkeit Umwelt), ist ein Überbegriff für sämtliche Effekte der elektromagnetischen Strahlung in allen Frequenzbereichen. Dabei sind die Auswirkungen auf den Körper sehr von der Strahlungseigenschaft wie Frequenz, Feldstärke, Impulszeit... abhängig.

Zwei wichtige Begriffe die auch in der Literatur öfters vertauscht bzw. vermischt werden

- EMF elektromagnetische Felder oder EMVU elektromagnetische Verträglichkeit Umwelt

Beschäftigt sich mit der Auswirkung von elektromagnetischen Feldern auf Mensch und Tier. Mit diesem Aspekt beschäftigt sich auch die Diplomarbeit.

- EMV elektromagnetischen Verträglichkeit

Die EMV-Richtlinie definiert Anforderungen an die Geräte über die Emission von elektromagnetischen Feldern. Bei Einhaltung der Grenzwerte soll sichergestellt werden, dass sich Geräte bei vorgesehener Nutzung nicht gegenseitig noch andere Geräte weder im Funk- noch in der Telekommunikationsübertragung stören. Ein weiterer Grundsatz dieser Richtlinie betrifft die Störfestigkeit der Produkte. Die Produkte dürfen durch Einstrahlung anderer Geräte nicht gestört werden.

Das Europäische Parlament hat 2014 eine neue EMV Richtlinie beschlossen. Bis spätestens 20.4.2016 muss die neue EMV Richtlinie [L21] in den Mitgliedstaaten der europäischen Union umgesetzt werden.

Obwohl in der englischen Literatur beide Begriffe mit EMC (*Electromagnetic Compatibility*) beschrieben werden, sind jedoch die Auswirkungen und Messmethoden sehr unterschiedlich.

2.1. Frequenzspektrum

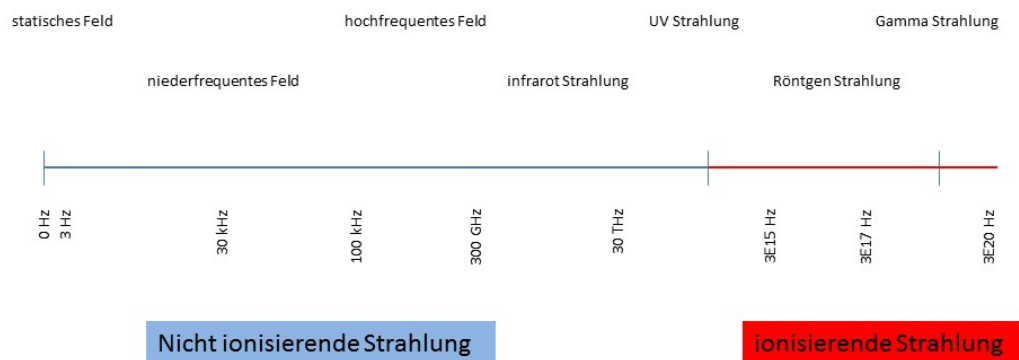


Abbildung 2 Frequenzspektrum

Frequenzbereich	Frequenzen	Beispiele der Sendequellen
Statisch	0 Hz	Gleichstromsystem, Erdmagnetfeld, Dauermagnet,..
Niederfrequenzbereich	> 0 Hz -	Starkstromleitungen, 230V Hausstromsysteme, Bahn und Straßenbahn, Elektromotoren in Autos, Zügen und Straßenbahnen,...
	300 Hz	
Mittelfrequenzbereich	300 Hz -	Warensicherungsanlagen, berührungslose Identifikationssysteme für Zugangskontrollsysteme, Medizinische Ultraschall Geräte ...
	100 kHz	
Hochfrequenzbereich	100 kHz -	In diesem Frequenzbereich befinden sich derzeit ca. 90% aller Funkanwendungen. Dazu zählen der Rundfunk/TV Broadcast, öffentlicher Mobilfunk, privater und Behördenfunk, Mikrowellenherde, medizinische Mikrowellen Anwendungen...
	300 GHz	
		300 GHz ist derzeit die oberste Frequenz nach ITU (wird derzeit neu überarbeitet und soll in Zukunft auf 3000 GHz angehoben werden)
THz-Technologien	300 GHz -	Dieser Bereich wird in Zukunft für Telekommunikationsanwendungen freigegeben. Aufgrund der hohen Frequenz und der dadurch sehr hohen Übertragungsdämpfung kann er hauptsächlich für Kurzstrecken Übertragungen eingesetzt werden.
	20 THz	

2.2. Ionisierende und nicht ionisierende Strahlung

Nicht ionisierende Strahlung bezeichnet elektromagnetischen Wellen, deren Energie nicht ausreicht, um andere Atome in ihrer Atom Struktur zu ändern. Diese Strahlung ist daher nicht in

der Lage, Elektronen aus Atomen bzw. Molekülen herauszulösen, sodass positiv geladene Ionen oder Molekülreste überbleiben. Elektromagnetische Felder im Frequenzbereich unter 750 THz zählen zu der nicht ionisierenden Strahlung.

Bei der Messung der Exposition von elektromagnetischen Feldern, wird der von der internationalen Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, kurz ICNIRP, definierte Frequenzbereich verwendet. Das Frequenzspektrum reicht dabei von 0 Hz bis 300 GHz. Da die obere Grenzfrequenz mit 300 GHz beschränkt ist, ist keine ionisierende Strahlung vorhanden, man spricht daher auch von der Messung der nichtionisierenden Strahlung.

2.3. Elektromagnetische Wellen

Von elektromagnetischen Systemen spricht man, wenn sich in diesen Systemen elektrische und magnetische Feldenergie periodisch ineinander umwandeln. Solche Systeme werden im Allgemeinen als elektromagnetische Schwingkreise bezeichnet. Der Spannungsverlauf am Kondensator, als auch der Stromverlauf, hat einen sinusförmigen Verlauf. Der Verlauf von Spannung zu Strom ist zu einander um $\pi/2$ (=90 Grad) Phasen verschoben. Die Frequenz bzw. Periodendauer ergibt sich, wenn im System der Ausgangszustand wieder hergestellt ist.

Eines der wesentlichsten Kennwerte eines Schwingkreises ist die

Eigenfrequenz f

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

f ...Eigenfrequenz der Schwingkreises [Hz]
 L ...Induktivität der Spule [H]
 C ...Kapazität des Kondensators[F]

(F2.1)

Wellenlänge λ

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ ...Wellenlänge [m]
 c ...Lichtgeschwindigkeit [m/s]
 f ...Frequenz [Hz=1/s]

(F2.2)

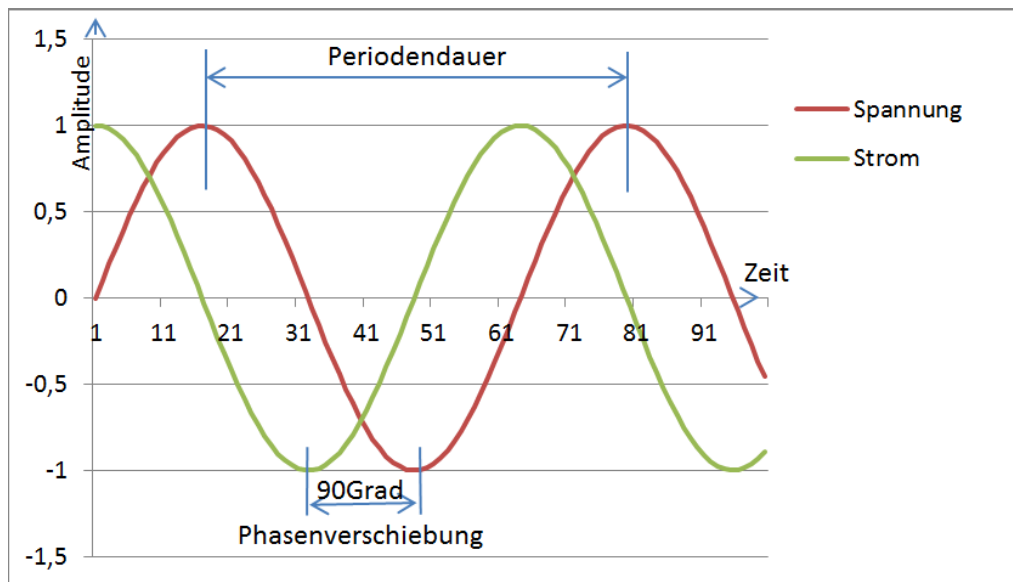


Abbildung 3 Verlauf Strom-Spannung am Kondensator beim Schwingkreis in Eigenresonanz

Vom Schwingkreis zum Strahler

Werden die Kondensatorplatten so weit auseinander gezogen sodass ein gestreckter Leiter entsteht, so wird aus dem geschlossenen Schwingkreis ein offener Schwingkreis. Wie der geschlossene Schwingkreis hat auch der offene Schwingkreis eine Eigenresonanzfrequenz, mit der das elektrische und das magnetische Feld ineinander wechseln. Mit steigender Frequenz werden auch Kondensator und Spule kleiner und damit auch das Abstrahlungsverhalten stärker. Das elektromagnetische Feld kann den Leiter verlassen und breitet sich kugelförmig im Raum aus.

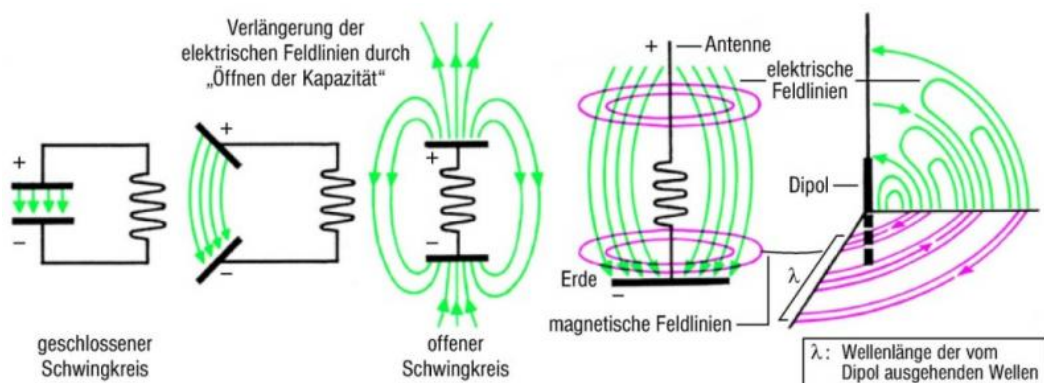


Abbildung 4 Vom Schwingkreis zur Antenne

Quelle <http://www.wissen.de/lexikon/schwingkreis>

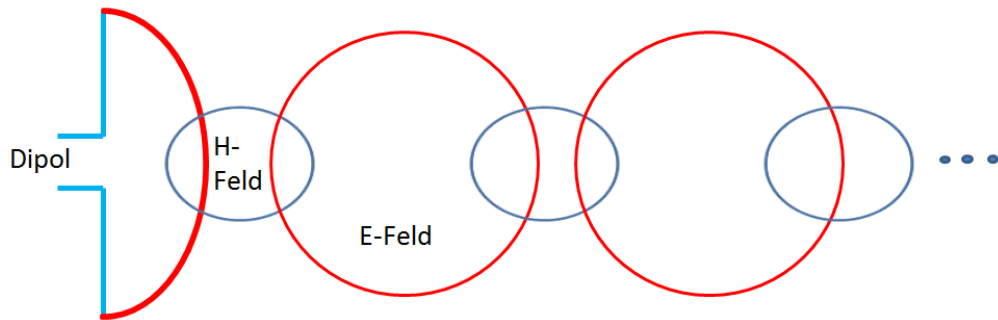


Abbildung 5 Wellenausbreitung im Nahfeld

- **Ausbreitungsgeschwindigkeit**

im Vakuum

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 * \mu_0}} \quad \begin{array}{l} \epsilon_0 \dots \text{elektrische Feldkonstante} \\ \mu_0 \dots \text{magnetische Feldkonstante} \end{array} \quad (\text{F2.3})$$

im allgemeinen Medium

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r * \epsilon_0 * \mu_r * \mu_0}} \quad \begin{array}{l} \epsilon_r \dots \text{relative Permittivität (Dielektrizitätszahl)} \\ \mu_r \dots \text{relative Permeabilität} \end{array} \quad (\text{F2.4})$$

Beispiel für Luft
 $\epsilon_r = 1,00059 \approx 1$
 $\mu_r = 1,00000000004 \approx 1$

Setzt man die elektrische und die magnetische Feldkonstante ein, so beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit näherungsweise die Lichtgeschwindigkeit. Dieses gilt im Vakuum und mit gerundeten Werten auch für die Luft.

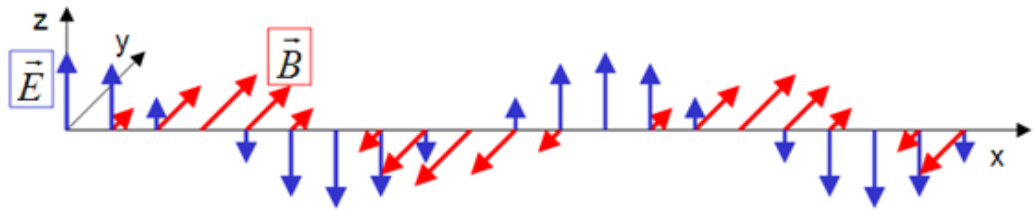
$$c = 2,99 * 10^8 \text{ m/s.}$$

	elektrische Felder	magnetische Felder	elektromagnetische Felder
Formelzeichen	\vec{E}	\vec{B} , \vec{H}	\vec{S}
Einheit	elektrische Feldstärke E, Volt pro Meter [V/m]	magnetische Feldstärke H, Ampere pro Meter [A/m] Magnetische Flussdichte B, Tesla [T]	Strahlungsdichte, Leistungsflussdichte oder elektromagnetische Strahlung, Watt pro m ² [W/m ²]
Formel	$E(t) = \frac{u(t)}{d}$ (F2.5)	$\vec{B} = \mu * \vec{H}$ (2.6)	$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ (F2.7)

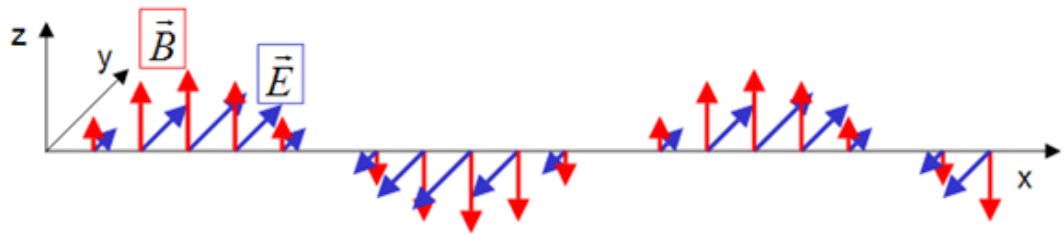
2.4. Ausbreitungsbedingungen

Das magnetische und das elektrische Feld breiten sich mit gleicher Frequenz aus. In der Nähe der Quelle wechseln sich die Maxima des magnetischen und des elektrischen Feldes ab. Der zeitliche Phasenunterschied der beiden Felder zueinander beträgt $\pi/2$, das entspricht 90 Grad. Je weiter man sich von der Quelle entfernt verringert sich der Phasenunterschied der beiden Felder, bis beide Felder im Fernfeld zeitlich phasengleich werden.

Der elektrische Feldstärkevektor \vec{E} und der magnetische Feldstärkevektor \vec{H} stehen im 90 Grad Winkel zueinander.



E-Feld und H-Feld im Nahfeldbereich



E-Feld und H-Feld im Fernfeldbereich

Abbildung 6 Ausbreitung elektromagnetische Welle im Nah- und Fernfeld

Quelle: [https://www.uni-](https://www.uni-kassel.de/fb10/fileadmin/datas/fb10/physik/oerflaechenphysik/exp2/Lehre/ExpPhysII/Elektromagnetische-Wellen.pdf)

[kassel.de/fb10/fileadmin/datas/fb10/physik/oerflaechenphysik/exp2/Lehre/ExpPhysII/Elektromagnetische-Wellen.pdf](https://www.uni-kassel.de/fb10/fileadmin/datas/fb10/physik/oerflaechenphysik/exp2/Lehre/ExpPhysII/Elektromagnetische-Wellen.pdf)

In Abhängigkeit der Entfernung zur Quelle (Sender), wird der Ausbreitungsraum in drei räumliche Gebiete unterteilt:

- reaktives Nahfeld
- Übergangsfeld (Fresnel-Region oder strahlendes Nahfeld)
- Fernfeld (Fraunhofer-Region)

Im Nahfeld und Übergangsfeld muss das elektrische und magnetische Feld getrennt voneinander gemessen werden. Da jedoch die Nahfeldzone bei den zu berücksichtigenden Frequenzen von Zentimeter bis einige Meter reichen (siehe Tabelle 2 Beispiele Fernfeld Entfernung) und diese für die allgemeine Bevölkerung durch bauliche Maßnahmen nicht betreten werden kann, wird für die weitere Betrachtung nur das Fernfeld berücksichtigt.

Im Fernfeld sind die Zusammenhänge von E-Feld und H-Feld direkt proportional. Es kann daher von einer Feldkomponente auf die andere geschlossen werden.

Die Entfernung der Feldübergänge ist abhängig von der Frequenz (f) der Strahlung. Zwischen 30 MHz und 1000 MHz kann die Berechnung der einzelnen Entfernungen, über eine vereinfachte Annahme in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ , berechnet werden. Die genaue Berechnung ist in der EN 50492 [L31] definiert.

	Nahfeld		Fernfeld (Frauenhofer Zone)
	Reaktives	Strahlendes (Fresnel Zone)	
Entfernung	$r < 0,2 \cdot \lambda$ (F2.8)	$0,2 \cdot \lambda < r < 2 \cdot \lambda$ (F2.9)	$r > 2 \cdot \lambda$ (F2.10) bzw. bei großer Abmessung L der Antenne gegenüber λ $r \approx 2 \cdot L^2 / \lambda$ (F2.11)

Tabelle 1 Berechnung Entfernung Nah und Fernfeld

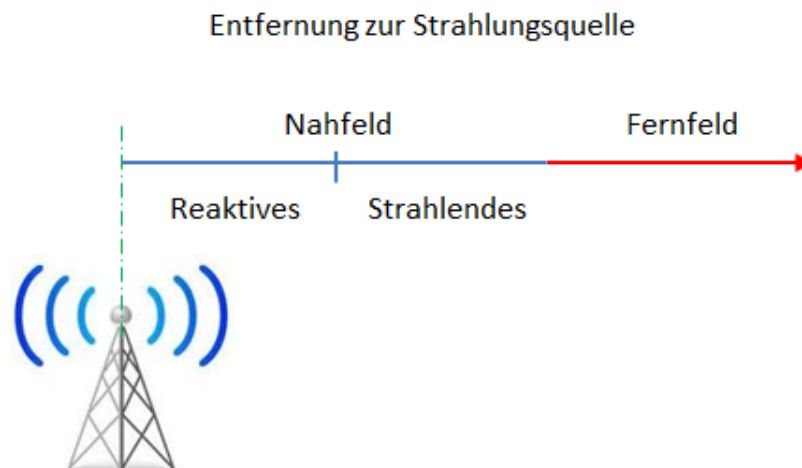


Abbildung 7 Raumgebiete nach Entfernung

Bespiele für Fernfeldabmessungen:

Wellenlängen in der Luft, wobei für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der gerundete Wert von 300000km/s angenommen wird, eingesetzt in Formel F2.2

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c ..Lichtgeschwindigkeit [m/s]

f ...Frequenz [1/s]

(F2.12)

Fernfeld ($r > 2 \cdot \lambda$) Berechnung über vereinfachte Formel F2.9

Funkanwendung	Mittenfrequenz [MHz]	Wellenlänge λ [m]	Fernfeld ab [m]
UKW Radio	100	3,0	6,0
Amateurfunk 2m	144	2,0	4,0
GSM 900 MHz	900	0,3	0,6
UMTS 1800 Mhz	1 800	0,2	0,4
WLAN 2,4 GHz	2 400	0,12	0,25
WLAN 5 GHz	5 400	0,06	0,12

Tabelle 2 Beispiele Fernfeld Entfernung

Die Leistungsflussdichte S [W/m²] ist ein Maß für die senkrecht auf eine Fläche eintreffende Leistung eines elektromagnetischen Feldes. Sie wird in Watt pro Quadratmeter gemessen.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (\text{F2.13})$$

Die Leistungsflussdichte nimmt im Quadrat zur Entfernung ab, da sich die Welle wie eine Kugel im Raum ausbreitet und sich die Oberfläche nach folgender Gleichung berechnet.

$$A = 4 * \pi * r^2 \quad (\text{F2.14})$$

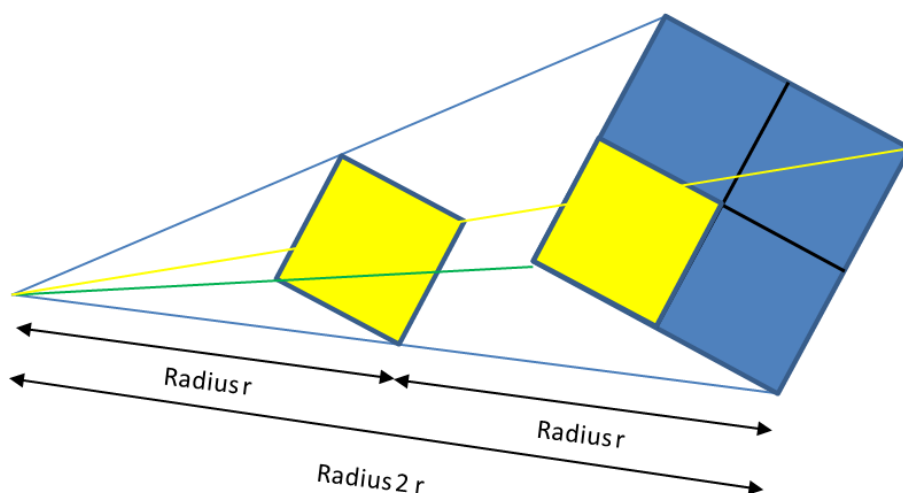


Abbildung 8 Leistungsflussdichte in Abhängigkeit zum Abstand

Im Fernfeld kann vom H-Feld auf das E-Feld und umgekehrt, umgerechnet werden.

Ist das H-Feld bekannt bzw. kann es gemessen werden, so gilt:

$$|S| = |H|^2 * Z_0 \quad (\text{F2.15})$$

Wenn nur das E Feld bekannt bzw. gemessen werden kann, so gilt für die Umrechnung:

$$|S| = |E|^2 / Z_0 \quad (\text{F2.16})$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 120 * \pi [\Omega] = 377 [\Omega]$$

Der Wellenwiderstand einer elektromagnetischen Welle im Vakuum ist rein reell

ϵ_0 ...elektrische Feldkonstante

8,8542E-12 [Am/Vs]

μ_0 ...magnetische Feldkonstante

1,2566E-6 [N/A²]

(F2.17)

Wellenwiderstand in der Luft

$$Z_F = Z_0 * \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$$

ϵ_r ...relative Permittivität (Dielektrizitätszahl)

μ_r ...relative Permeabilität

für Luft

$\epsilon_r = 1,00059 \approx 1$

$\mu_r = 1,00000000004 \approx 1$

(F2.18)

Der Wellenwiderstand der Luft ist ungefähr gleich dem des Vakuums. Der Unterschied beträgt rund 0,1 Ohm und ist daher in der Praxis zu vernachlässigen.

Während die Leistungsflussdichte die Intensität einer elektromagnetischen Welle angibt, die durch eine bestimmte Fläche im Raum hindurchgeht, gibt die spezifische Absorptionsrate (SAR) an, wie viel elektromagnetische Energie pro Zeit im Körper *tatsächlich absorbiert* wird. Sie wird in Watt pro Kilogramm Körpergewebe (W/kg) gemessen.

2.5. Polarisation der elektromagnetischen Welle

Als Polarisations Ebene einer elektromagnetischen Welle wird die Ebene bezeichnet, mit der sich der Feldvektor des elektrischen Feldes ausbreitet. Bei vertikaler Polarisation bewegt sich der elektrische Feldvektor entlang der Z-Achse. Bei horizontaler Polarisation entlang der Y-Achse.

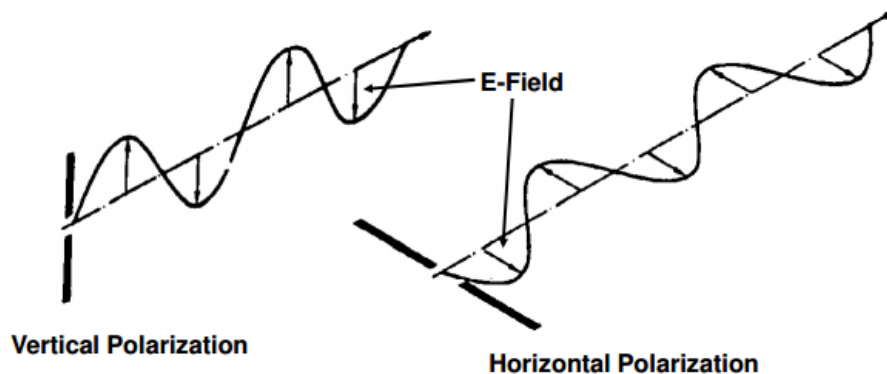


Abbildung 9 Vertikale und Horizontale Polarisation

Welche Polarisation bevorzugt verwendet wird, ist abhängig von der Frequenz der Aussendung:

- für den niederfrequenten Bereich (bis 30 MHz) werden hauptsächlich vertikal polarisierte Wellen verwendet, da diese eine bessere Ausbreitung der Bodenwelle ermöglichen
- für den hochfrequenten Bereich von 30 MHz bis 3000 MHz, ist die horizontale Polarisation besser, da bei horizontal polarisierten Wellen weniger Störungen auftreten
- bei Satelliten-Funk werden zirkular polarisierte, jedoch seit einiger Zeit auch linear polarisierte Aussendungen verwendet

Am Übertragungsweg kann sich bei der Aussendung durch Brechung oder Reflexionen an Gegenständen (Berge, Bäume, Gebäude...) die Polarisations Ebene verändern.

Die meiste elektrische Feldenergie kann über eine E-Feld Empfangsantenne wieder in elektrischer Energie gewandelt werden, wenn die Empfangsantenne in gleicher Ausrichtung wie die Polarisations eben des E-Feld am Empfangsort verwendet wird. Das gleiche gilt sinngemäß auch für H-Feld Antennen.

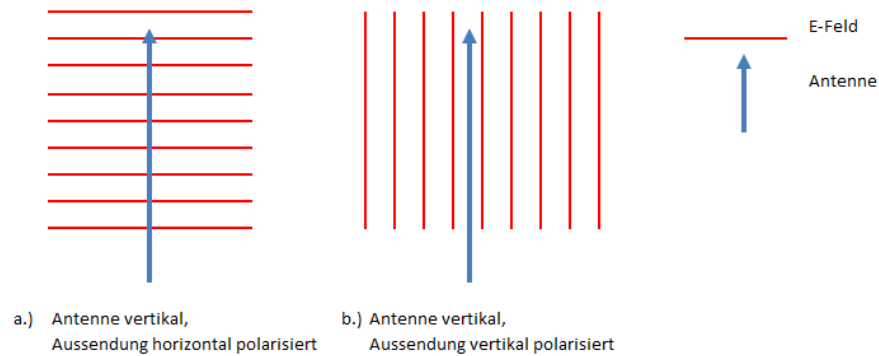


Abbildung 10 Empfangspolarisation und Sendepolarisation

E-Feld Ebene und Antennenausrichtung am Empfangsort	
ident	90 Grad gedreht
maximaler Empfang	minimaler Empfang theoretisch kein Empfangssignal

2.6. Quellen elektromagnetischer Felder

Elektromagnetische Felder der nichtionisierenden Strahlung können durch natürliche und künstliche Strahlungsquellen entstehen. Die größte natürliche Quelle ist die Sonne, wobei die Strahlung hauptsächlich im optischen Bereich liegt.

Bei den künstlich erzeugten Quellen entstehen niederfrequente elektromagnetische Felder (EMF) hauptsächlich durch die Stromversorgung und Stromanwendung (Hochspannungsleitungen, Transformatoren, elektrische Hausinstallationen, elektrische Apparate). Hochfrequente EMF kommt vor allem im Bereich der Telekommunikation vor.

Wichtige Begriffe der Strahlung zitiert aus den Unterlagen des Schweizer Bundesamtes für Gesundheit. (Quelle: [www.bag.admin.ch/themen/strahlung--Nichtionisierende Strahlung und Gesundheitsschutz in der Schweiz 1995](http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung--Nichtionisierende%20Strahlung%20und%20Gesundheitsschutz%20in%20der%20Schweiz%201995)[L 13])

„

- Die **Emission** ist die Strahlung, die von einer Strahlungsquelle ausgesendet wird.
- Die **Immission** ist die Strahlung an einem bestimmten Ort. Die Immission ist meistens niedriger als die Emission, da die Strahlung zwischen der Strahlungsquelle und dem Ort der Immission abgeschwächt werden kann.

- Die **Exposition** ist die Strahlung (Immission), welcher ein Objekt (Mensch, Tier, Pflanze, Boden oder Güter) während einer bestimmten Dauer (Expositionszeit) ausgesetzt ist.
- Die **Expositionszeit** ist die Zeit, während der ein Objekt der Strahlung ausgesetzt ist. Es werden Kurzzeitepositionen (mit akuten Wirkungen) und Langzeitepositionen (mit chronischen Wirkungen) unterschieden." [L13]

2.7. Auswirkungen auf den Körper

Derzeit geht die WHO von mehreren Wirkungen der nichtionisierenden elektromagnetischen Strahlung auf einen organischen Körper aus:

- Im Niederfrequenz-Bereich kommt es zu Zellreizung, Stimulation von Zellen
- Im Hochfrequenz-Bereich wird das Gewebe erwärmt → Thermischer Effekt

Weitere Effekte werden in der Wissenschaft diskutiert [L1], konnten aber noch nicht wissenschaftlich bestätigt werden. Dazu zählen unter anderem

- Schlafstörungen,
- Stress,
- Kopfschmerzen,
- Krebs,
- Tumore und
- Veränderungen an der Erbsubstanz.

Derzeit ist im Bereich der Hochfrequenzstrahlung nur die thermische Wirkung jene, die auch von der WHO bei den Grenzwerten berücksichtigt wird. Andere Effekte sind möglich, diese sind aber derzeit wissenschaftlich nicht nachweisbar und bleiben daher für die Beurteilung der Grenzwerte für nichtionisierende Strahlung unberücksichtigt.

Thermische Wirkung

Jene hochfrequenten Felder die der Körper absorbiert, werden im Körper in Wärme umgewandelt. Der Körper selbst kann durch Gegenmaßnahmen, wie Schwitzen und über den Blutkreislauf, den größten Teil der Wärme abführen. Die Normaltemperatur des Körpers beträgt um die 37 Grad Celsius.

Bei Temperaturerhöhungen im Körperinneren von über ein Grad Celsius, gibt es bereits Schädigungen des Gewebes. Ab dieser Temperatur beginnt sich das Eiweiß im Gewebe zu zersetzen. Dabei gibt es Gewebe, das empfindlicher auf diese Temperaturerhöhung reagiert, wie wenig durchblutete Organe z.B. Auge, Hoden,...

Gewebe das stärker durchblutet wird, kann auch die Temperaturerhöhung besser ausgleichen. Je höher die Temperaturerhöhung, durch die Absorption der elektromagnetischen Strahlung ausfällt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit der irreversiblen Schädigung des Gewebes.

3. Grenzwerte der Immission

(Definition nach EN 8850)

3.1. SAR spezifische Energieabsorptionsrate [W/kg]

Die spezifische Energieabsorptionsrate ist von der Aufnahmefähigkeit von elektromagnetischen Feldern eines Materials abhängig. Die absorbierte Feldenergie führt dabei zur Erwärmung des Materials das dem elektromagnetische Feld ausgesetzt ist. Der SAR Wert kann aus der Feldstärke im Körper, Stromdichte im Körper oder aus der Temperaturerhöhung des Körpers berechnet werden.

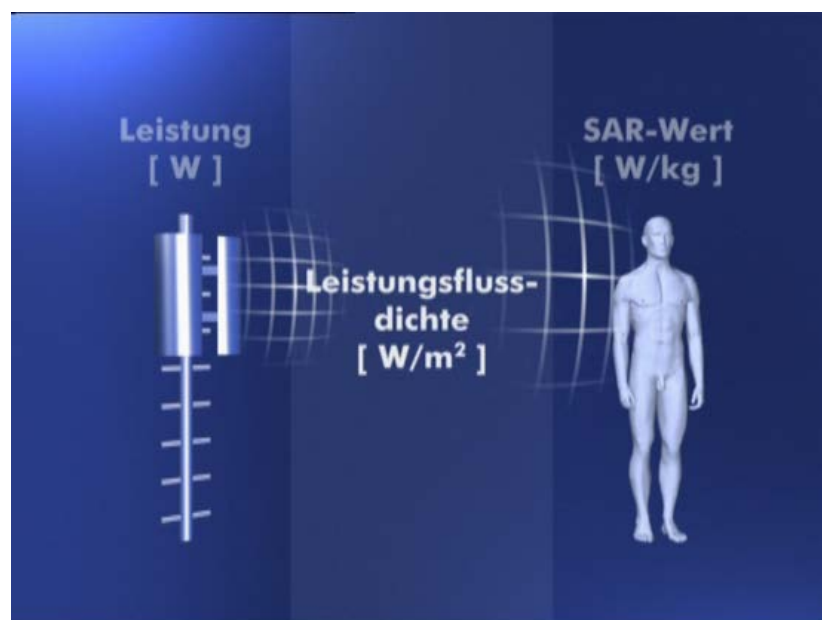


Abbildung 11 SAR

Die Europäische Norm EN50383 [L26] definiert die spezifische Absorptionsrate SAR wie folgt. Aus der Definition werden auch die Berechnungsmöglichkeiten der spezifischen Absorptionsrate abgeleitet.

„SAR ist die zeitliche Ableitung der enthaltenen Energie (dW), die durch ein Volumelement (dV) einer biologischen Masse mit der Massedichte ρ enthaltenen Masse absorbiert wird. Die Einheit von SAR ist W/kg.“ Definition laut EN50383[L26]

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (F3.1)$$

Ausgehend von dieser Gleichung lässt sich die SAR auch über die Temperaturänderung (Temperaturanstieg) im Gewebe messen.

$$SAR = c_i \frac{dT}{dt}$$

$\frac{dT}{dt}$...Ableitung der Temperaturänderung über die Zeit [K/s]
 c_i ...spezifische Wärmekapazität des Körpergewebes [J/kg K]
(F3.2)

alternativ lässt sich die SAR auch über die Feldstärke E, gemessen im Messobjektskörper der biologischen Masse errechnen.

$$SAR = \frac{1}{2} \frac{\sigma |\vec{E}|^2}{\rho}$$

$|\vec{E}|$... Betrag des Effektivwertes von elektrischen Feldstärkevektor [V/m]
 ρ ...Dichte des Gewebes [kg/m³]
 σ ...elektrische Leitfähigkeit des Gewebes [S/m]
(F3.3)

Messtechnisch können die SAR Werte durch Messungen an Kunstkörperteilen, wie die Abbildung 12 als Beispiel für einen Kopf zeigt, gemessen werden. Im Inneren des Kunstkopfes sind isotrope Sensoren verbaut, welche den gemessenen SAR Wert in W/kg anzeigen.

Der Messkopf kann aber auch eine abgeleitete Einheit wie zum Beispiel Leistungsdichte [W/m²] anzeigen. Über eine Lichtwellenleiter Verbindung können sämtliche Messdaten auch auf einen PC übertragen werden.

Der abgebildete Messkopf der Fa. Maschek, kann Strahlung im Frequenzbereich von Mobilfunk und Tetra messen.

Frequenzbereiche:

- 425MHz (TETRA),
- 900MHz (GSM900),
- 1750MHz (GSM1800) und
- UMTS (1950MHz).

Der Messbereich beträgt 0,001W/kg - 20W/kg, gemittelt über 1Gramm Körpermasse und einer Auflösung von 1mW/kg. (Angaben lt. Infoblatt der Fa. Maschek [L37])



Abbildung 12 Messkopf für die SAR Messung ESM 120 Fa. Maschek Elektronik

Quelle <http://maschek.de/pdf/ESM-120-de.pdf> [L37]

3.2. Basisgrenzwert

Durch Studien und Simulationen wurden von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) Grenzwerte für die Exposition erstellt, bei deren Überschreitung es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen kann. Die Basisgrenzwerte beziehen sich dabei an direkten im Körperinneren gemessenen Messgrößen. Als physikalische Messgröße wird dabei, abhängig von Frequenz des Feldes,

- die elektrischen Stromdichte J ,
- die spezifische Energieabsorptionsrate SAR und
- die Leistungsflussdichte S

verwendet.

Basisgrenzwerte dürfen niemals überschritten werden, da es sonst zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen kommen kann.

Bei der Messung der SAR Werte, die für die Frequenzen von 100 kHz bis 10 GHz überwiegend zu verwenden sind, werden die Werte über einen Zeitraum von sechs Minuten arithmetisch gemittelt. Sechs Minuten wurden gewählt, da sie den Zeitraum beschreiben welcher ein Mensch benötigt, um die von außen verursachte Temperaturerhöhung wieder ins Gleichgewicht bringen zu können. Dabei helfen dem Körper die eigenen Maßnahmen, wie unter anderem der Blutkreislauf, zur Regulierung und Senkung der Körpertemperatur.

SAR Ganzkörper [W/kg]	Wirkung Temperaturanstieg
0,1	Keine Temperaturerhöhung feststellbar
0,4	Temperaturerhöhung <0,5 °C
1-4	Temperaturerhöhung < 1 °C
>4	Temperaturerhöhung >1 °C

Tabelle 3 Auswirkungen der SAR Ganzkörper

Auch bei der Einhaltung der Basisgrenzwerte sind negative Effekte, infolge der Exposition durch elektromagnetische Felder, nicht generell ausgeschlossen.

Der Nachweis der Einhaltung der Basisgrenzwerte kann durch messtechnische, analytische oder numerische Modelle bzw. Methoden erfolgen.

Bei Anwendung der SAR wird unterschieden ob der gesamte Körper dem elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist oder nur ein Teilkörper, wie der Kopf bei Verwendung eines Mobiltelefons. Würde bei der Teilkörperbelastung das einwirkende Feld auf die gesamte Körpermasse aufgeteilt werden, so ist das Ergebnis eine Unterbewertung für den vielleicht zu hoch belasteten Teilkörper. Daher wurde von der WHO zusätzlich zu dem Basisgrenzwert für den Ganzkörper SAR auch Basisgrenzwerte für mehrere definierte Körperteile als Teilkörper SAR vorgegeben.

Als Wirkungsschwelle für den Ganzkörperbereich hat die ICNIRP einen Wert von 4 Watt pro Kilogramm Körpergewicht festgestellt. Diesem Wert der absorbierten Leistung entspricht ein Anstieg der Körpertemperatur von etwa 1 Grad Celsius. Unterhalb dieser Schwelle treten nach dem Fachurteil der ICNIRP Experten keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf.

Um die Sicherheit noch zu erhöhen, wurden diese Grenzwerte nochmals um den Faktor 10 für berufliche und diese nochmals um den Faktor 5, für die allgemeine Bevölkerung reduziert.

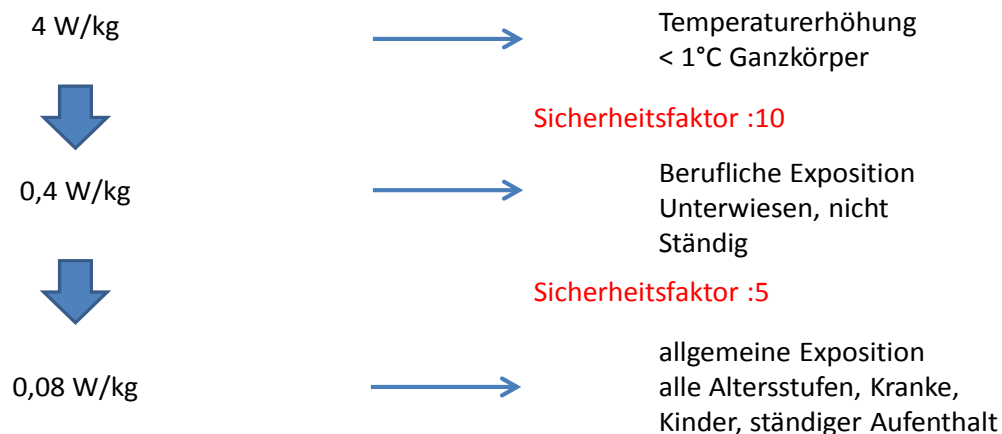


Tabelle 4 Sicherheitsfaktor für SAR

Die Basisgrenzwerte der spezifischen Absorptionsrate für durchschnittliche Ganzkörper-SAR und lokale SAR für Frequenzen von 0 Hz bis 10 GHz sind in Tabelle 5 wiedergegeben.

Allgemeinbevölkerung	SAR Ganzkörper	Lokale SAR Kopf & Rumpf	Lokale SAR Gliedermaßen
	W/kg	W/kg	W/kg
10MHz-10GHz	0,08	2	4

Tabelle 5 SAR Allgemeinbevölkerung

Für die lokalen SAR-Werte wurden 10g des betroffenen Körperteiles definiert. Die reduzierten Basisgrenzwerte für die Exposition der Allgemeinbevölkerung berücksichtigen die Tatsache, dass hier z.B. Alter und Gesundheitszustand der betroffenen Menschen sehr unterschiedlich sein können. Es müssen auch Schwangere, ältere Personen oder Kinder berücksichtigt und geschützt werden. Bei dem höheren Grenzwert für berufliche Exposition wird davon ausgegangen, dass weder eine ständige, noch eine länger anhaltende Aussetzung mit erhöhtem elektromagnetischen Feld vorhanden ist. Die betroffenen Personen sollten besonders geschult für den Umgang mit diesen Feldern sein.

Bei vergleichen von SAR Grenzwerten der EN8850 mit Grenzwerten der amerikanischen ANSI Norm FCC 96-326 muss die Tatsache berücksichtigt werden, dass die ANSI die lokalen SAR Grenzwerte für die Teilkörper-SAR mit 1,6 Watt/kg in einem 1 Gramm-Gewebewürfel statt der 10g bei ICNIRP vorgibt.

Die Basisgrenzwerte wurden von der ICNIRP durch Simulationen, Berechnungen und Messungen erstellt.

3.3. Abgeleitete Referenzwerte

Messtechnisch müssen die Basisgrenzwerte im Körperinneren gemessen werden. Da dieses Messverfahren zur Überprüfung der Einhaltung der Basisgrenzwerte im Feld messtechnisch nicht immer durchführbar ist, wurden zur Expositionsbeurteilung „abgeleitete Grenzwerte“ eingeführt. Dazu wurden leichter messbare Messgrößen verwendet die im Immissionsfeld gemessen werden können. Dazu zählt unter anderem die elektrische oder magnetische Feldstärke.

Bei Verwendung der Referenzwerte ist es nicht notwendig, dass die exponierte Person im Messfeld anwesend ist. Sie könnte sogar durch ihre Anwesenheit das Messergebnis beeinflussen. Berechnet wurden die abgeleiteten Referenzwerte aus den Basisgrenzwerten.

Die Referenzwerte für folgende physikalische Größen wurden von der ICNIRP festgelegt und in der EN8850 angeführt:

- elektrische Feldstärke E
- magnetische Feldstärke H
- magnetische Flussdichte B
- Leistungsflussdichte S
- fließende Ströme durch Gliedmaßen IL
- Kontaktstrom IC

Auch für die abgeleiteten Referenzwerte gilt, dass innerhalb eines Intervalls von 6 Minuten, die nach Tabelle 6 festgelegten Werte nicht überschritten werden dürfen. Die sechs Minuten kommen, wie schon bei den Basisgrenzwerten, aus der thermischen Zeitkonstanten die der Körper für den Ausgleich benötigt.

Frequenzbereich	E elektrische Feldstärke effektiv	H magnetische Feldstärke effektiv	B magnetische Flussdichte Effektiv	S äquivalente Leistungsflussdichte
-----------------	--	--	---	--

	V/m	A/m	μT	W/m ²
>10 MHz bis 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz bis 2 GHz	$1,375 \cdot f^{1/2}$	$0,0037 \cdot f^{1/2}$	$0,0046 \cdot f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz bis 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabelle 6 abgeleitete Referenzwerte für die allgemeine Bevölkerung (10 MHz bis 300 GHz)

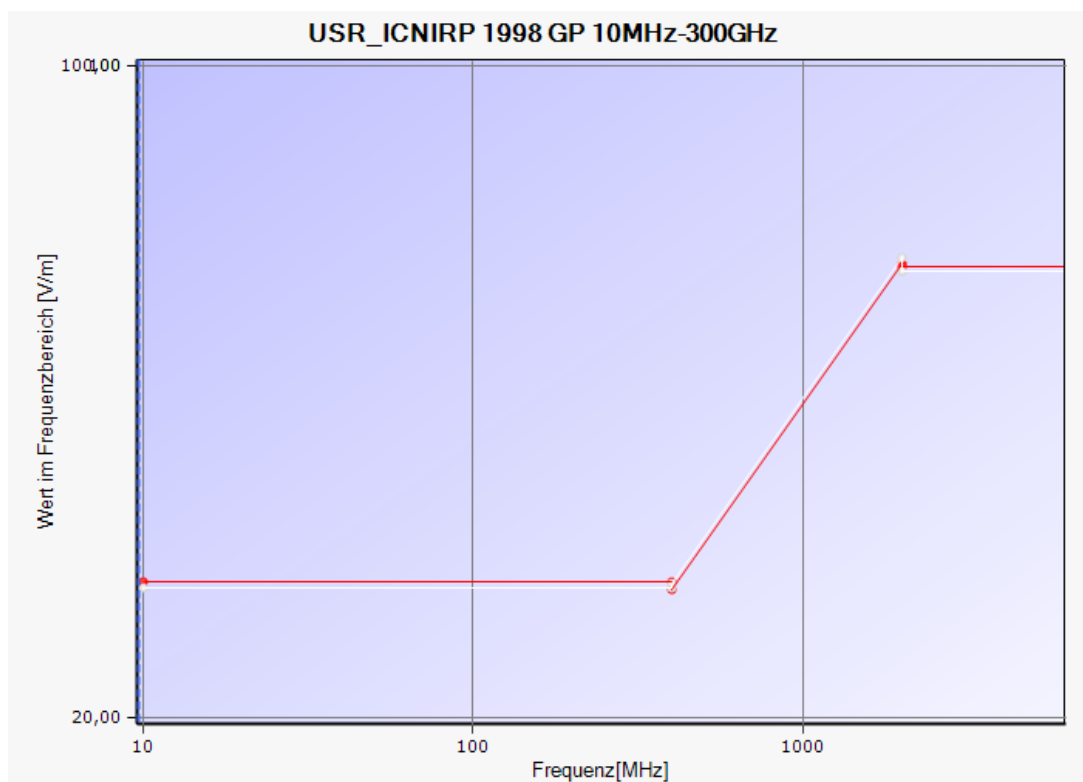


Abbildung 13 Grafik Referenzwerte E-Feld ICNIRP allgemeine Bevölkerung

4. Normen und Messvorschriften

Auszug aus den Normen und Vorschriften für die Expositionsmessung

4.1. ICNIRP

ICNIRP (International Commission on non-ionizing radiation protection = Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung) ist eine internationale Vereinigung von Wissenschaftlern, zur Erforschung der Auswirkung nichtionisierender Strahlung auf die menschliche Gesundheit.

Die ICNIRP ist in Deutschland als Verein eingetragen und ist eine eigenständige, unabhängige Organisation. Die WHO (World Health Organization = Weltgesundheitsorganisation) und die Europäische Union anerkennen die Arbeiten der ICNIRP. Die Richtlinien (Guidelines) der ICNIRP wurden von der WHO für die Empfehlung an den EU Rat herangezogen.

Die Hauptaufgabe der ICNIRP ist die Bewertung und Erstellung von Grenzwerten von nicht ionisierender Strahlung, wobei derzeit nur der thermische Effekt als wissenschaftlich bewiesen, herangezogen wird. Das nur der thermische Effekt berücksichtigt wird, ist auch einer der Hauptkritikpunkte vieler Gegenpublikationen und Kritiker.

ICNIRP Publikationen (Aufzählung auszugsweise – einzelne Dokumente sind auch in deutscher Übersetzung vorhanden):

- Guidelines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields.
- Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)
- Guidance on Determining Compliance of Exposure to Pulsed Fields and Complex Non-Sinusoidal Waveforms below 100 kHz with ICNIRP Guidelines

4.2. EN8850 Vor-Norm 2006

Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder im Frequenzbereich von 0 Hz bis 300 GHz - Beschränkung der Exposition von Personen

Die Norm existiert nur als Vor-Norm. Es werden die Grenzwerte und die dazugehörigen Messmethoden für die Messung der Exposition von magnetischen, elektrischen und elektromagnetischen Feldern beschrieben. Als Ausgangsmaterial dienen die Messmethoden und Grenzwerte der Publikationen der ICNIRP.

4.3. EN 50413

Norm zu Mess- und Berechnungsverfahren der Exposition von Personen in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)

In dieser Norm werden die Grundinformationen für die Messung und Berechnung der Exposition vermittelt. Sie dient daher als Informationsnorm für alle weiteren Normen, die sich detaillierter mit den Fragen der Exposition beschäftigen.

4.4. EN 50492

Norm für die Messung der elektromagnetischen Feldstärke am Aufstell- und Betriebsort von Mobilfunk Basisstationen in Bezug auf die Sicherheit von in ihrer Nähe befindlichen Personen

Diese Norm beschreibt die Messverfahren, die Messsysteme sowie die Nachbearbeitung für Messungen in der Nähe von Basisstationen. Sie wird für Messungen der Exposition und der Beurteilung der Sicherheit von Personen am Aufstell- und Betriebsort der Basisstationen verwendet. Der Frequenzbereich dieser Norm reicht von 100 kHz bis 300 GHz. Es werden alle ortsfesten Einrichtungen, die zur Verwendung in drahtlosen Telekommunikationsnetzen vorgesehen sind, berücksichtigt.

4.5. EN 62311

Bewertung von elektrischen und elektronischen Einrichtungen in Bezug auf Begrenzungen der Exposition von Personen in elektromagnetischen Feldern (0 Hz - 300 GHz)

In dieser Norm werden Bewertungsverfahren und -kriterien für Geräte, in Bezug auf das elektrische, magnetische und elektromagnetische Feld sowie gegenüber induzierten und Berührungsströmen beschrieben. Der Frequenzbereich reicht von 0 Hz - 300 GHz. Diese Fachnorm gilt für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung. Sie ist dann anzuwenden, wenn keine andere Norm zutrifft, die diese Geräte erfasst.

4.6. EU Ratsempfehlung

Durch den Rat der Europäischen Union wird zusammen mit dem Europäischen Parlament die Rechtsetzung der Europäischen Union vorgenommen. Dem Rat wurden die Empfehlungen der WHO vorgelegt, der diese als Ratsempfehlung an die einzelnen Mitglieder zur nationalen Umsetzung als Richtlinie weitergibt.

- EU Richtlinie 1999/519/EG vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der allgemeinen Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz — 300 GHz)
- EU Richtlinie 2004/40/EG vom 29. April 2004 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen elektromagnetischen Felder

4.7. Gesetzliche Vorschriften in Österreich

Das österreichische Telekommunikationsgesetz (TKG) [L28] sieht dazu im § 73 vor, dass „bei der Errichtung und dem Betrieb von Funkanlagen und Telekommunikationsendeinrichtungen der Schutz des Lebens und der Gesundheit von Menschen gewährleistet sein muss“.

Ein dezidiertes Gesetz, in dem Grenzwerte definiert werden, ist nicht vorhanden und derzeit auch nicht in Ausarbeitung. Die Umsetzung der Ratsempfehlung erfolgt nach geltender Judikatur. Dabei

anzuwendende Techniken sind vor allem durch die Heranziehung gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnisse und die aus solchen Erkenntnissen erarbeiteten Normen. In Österreich wurden mit der Vor-Norm ÖVE/ÖNORM EN 8850 die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und dem EU-Rat empfohlenen Grenzwerte für elektromagnetische Felder als Stand der Technik festgelegt.

5. Messgeräte

5.1. Breitband-Messung

Bei der Breitbandmessung wird der Feldstärken Summenwert über das gesamte eingestellte Frequenzspektrum gemessen. Die Messgeräte gibt es mit H-Feld aber auch mit E-Feld Antennen. Bei Messungen im Fernfeld können die anderen Größen, aus dem Messergebnis berechnet werden. Angezeigt wird der gemessene Wert oder auch ein berechneter Prozentwert bezogen auf den Grenzwert. Eine Änderung des Standards der für die Bewertung verwendet wird, ist bei den meisten Geräten durch Austausch der Antenne möglich z.B. ICNIRP GP1998, FCC 96-326,.... Bei den neueren Messgeräten erfolgt die Bewertung softwaremäßig. Für eine Änderung des Standards ist dann nur eine andere Bewertungskurve in der Gerätesoftware auszuwählen.

Bei dieser Messung ist aufgrund des Fehlens der Frequenzinformation des Messsignals, keine Aussage über die Feldstärke der einzelnen Frequenzbereiche möglich. Aufgrund der fehlenden Frequenzzuordnung ist ebenfalls auch die Hochrechnung auf maximale Sendeleistung nicht möglich.

Breitbandmessgeräte weisen eine typische Eingangsempfindlichkeit von 0,5 V/m auf. Eingesetzt werden sie daher überwiegend für eine rasche Übersichtsmessung und Prüfung auf Einhaltung der Grenzwerte, bei Arbeiten in der Nähe von Sendantennen.

Auszug aus den am Markt erhältlichen Breitband Messgeräten:

- Merkel - Lambda-Fox RFA3
- Gigahertz Solutions - Hochfrequenz-Analyser HF58B
- Wandel & Goltermann - EMR 200

Neuere Messgeräte sind mit Zusatzfunktionen wie zum Beispiel GPS Standort Ermittlung, Datenspeicher ausgestattet

Ein Vertreter dieser neuen Breitband-Feldmessgeräte mit Datenspeicher, ist das Narda NBM-550 Breitbandmessgerät. Einsetzbar für elektrische und magnetische Felder vom Hochfrequenz- bis zum Mikrowellenbereich (100 kHz - 60 GHz). Mittels verschiedenster steckbarer Sonden, ist es möglich das E-Feld oder H-Feld zu messen. Die Sonden sind sowohl in unbewerteter (flat), als auch als bewerteter (shaped) Ausprägung verfügbar.



Abbildung 14 Narda NBM550

Quelle www.narda.com



Abbildung 15 Verschiedene Sonden für NARDA NBM550

Quelle www.narda.com

Frequenzbereich	100 kHz – 3 GHz	100 kHz – 6 GHz	3 MHz – 18 GHz	300 MHz – 50 GHz	100 MHz – 60 GHz	300 kHz – 30 MHz	27 MHz – 1 GHz	300 kHz – 50 GHz EB5091: 3 MHz – 80 GHz
Feldgröße	E	E	E	E	E	H	H	E Shaped
Modellbezeichnung	EF0391 EF0392	EF0691	EF1891	EF5091 EF5092	EF6091	HF3061	HF0191	EA ... ED5091
Mobilfunk / Telekommunikation	●	●	●			●	●	●
Rundfunk/TV	●	●	●			●	●	●
Satellitenkommunikation			●	●	●			○
Radar			○	●	○			○
Industrie: Erhitzen und Härten	●	●				●		
Industrie: Plastikschweißen	●	●				●		
Industrie: Halbleiterproduktion	●	●				○		
Medizin: Diathermie, Hyperthermie	●	●						○
Leckstellensuche			●	●	●			○
Personenschutz (General Public)	●	●	●	○	●	●	○	○
Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit (Occupational)	●	●	●	●	●	●	●	●

● besonders gut geeignet ○ geeignet

Abbildung 16 Sonden nach Frequenzbereich Tabelle von Narda

Quelle www.narda.com

5.2. Frequenzselektive-Messung

Für die frequenzselektive Messung werden im allgemeinen Spektrum-Analysatoren mit geeigneter Messantenne verwendet. Es setzen sich aber immer mehr Lösungen durch, bei denen die Antenne, Messkabel und Messgerät als Einheit vorhanden sind. Bei diesen Geräten werden alle Parameter wie z.B. Antennenkennwerte, Kabelkennwerte in einem Speicher bei den einzelnen Komponenten geschrieben und können vom Messgerät ausgelesen werden. Damit ist keine händische Eingabe der Korrekturdaten sowie Selektion bei Änderung einer Komponente notwendig. Die Messwerte können ohne weitere Korrektur vom Messgerät übernommen werden.

Bei dem für die Messreihe zur Verfügung stehenden Spektrum-Analysator NARDA SRM3006, erfolgt die Messung in bestimmten, vordefinierten Frequenzspektren (Frequenzbänder). Gemessen wird je nach verwendeter Sonde das H-Feld oder das E-Feld. Die Messwerte können vom Messgerät oder der Auswertesoftware in unterschiedliche Einheiten (dBµV; V/m; A/m²;....) umgerechnet und angezeigt werden. Es ist möglich eine nach verschiedensten Standards bewertete Messgröße in Prozent des Grenzwertes ausgegeben werden.



Abbildung 17 Narda SRM3006

Bei Funkanwendungen, deren zeitlicher Sendeleistungsverlauf abhängig von der Auslastung ist, bedarf es zur Worst Case Beurteilung einer Hochrechnung (Extrapolation) auf maximal mögliche Feldstärke. Für diese Hochrechnung ist neben dem Signalpegel auch die Frequenz des Sendesignals notwendig, welche nur durch ein frequenzselektives Messgerät gemessen werden kann.

Für die Hochrechnung werden sämtliche HF Quellen identifiziert, einzeln gemessen und mit den von den Betreibern eingestellten Parametern hochgerechnet. Je nach Funkdienst müssen andere Berechnungsmethoden angewandt werden.

5.3. Messantenne

Bei der Beurteilung der Exposition müssen alle an einem Messort vorhandenen elektromagnetischen Felder gemessen werden. Diese werden in der Regel von unterschiedlichsten Senderstandorten mit verschiedenen Frequenzen und Polarisationen abgestrahlt. Am Übertragungsweg kann es dann auch noch, durch Reflexion und Beugung, zu Änderungen der Polarisationssebene kommen. Um die gesamte Feldenergie zu erfassen, müsste die Antenne die Signale aus allen Richtungen empfangen können. Dies ist nur mittels einer Kugelantenne (isotroper Antenne) möglich. Da diese aber nur theoretisch realisierbar ist, wird eine Annäherung mittels Zusammenschaltung mehrerer Dipol Antennen in der Praxis erreicht. Das Messgerät kann dann durch Umschalten der einzelnen Polarisationssebenen eine Messung der

einzelnen Polarisisationsebenen durchführen. Die Gesamtfeldstärke wird anschließend nach Gleichung F5.1 automatisch berechnet.

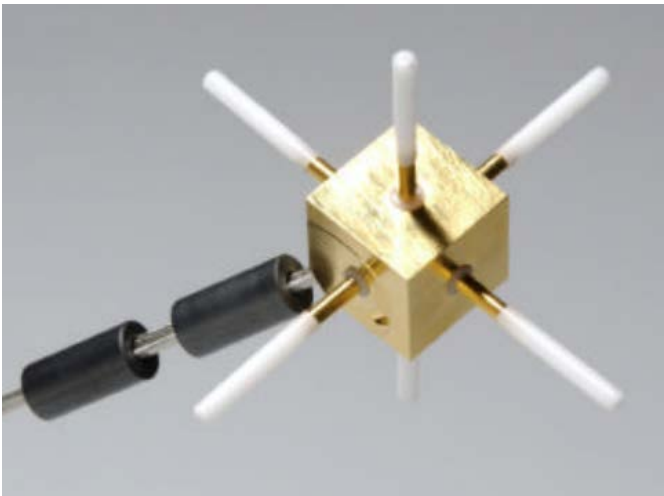


Abbildung 18 technische Näherung einer isotropen Antenne

Quelle www.narda.com

Alternativ können die 3 Messungen der Feldebene x, y und z auch manuell mit einer 1-achsigen Sonde durchgeführt und dann rechnerisch summiert werden.

$$E_{gesamt} = \sqrt{E_y^2 + E_x^2 + E_z^2}$$

(F5.1)

	Isotropic	Single Axis		
	E-Field H-Field	H-Field	E-Field	E-Field
Application	AM, Broadcasting, Mobile Communication	AM, FM, TV, Industry, Broadcasting	AM, FM, TV, Industry, Broadcasting	TV, FM, Mobile Communication
Frequency Range	27 MHz - 3 GHz 420 MHz - 6 GHz 9 kHz - 250 MHz	9 kHz - 300 MHz	9 kHz - 300MHz	27 MHz - 3 GHz

5.4. Dosimeter

Ein Dosimeter ist ein Gerät zur Messung der Strahlungsdosis (Exposition), welcher der Anwender ausgesetzt ist. Dosimeter werden häufig im Bereich der ionisierenden Strahlung eingesetzt. Zum Beispiel bei der Röntgenstrahlung, zur Überwachung der maximalen Strahlungsdosis, die auf den einzelnen Mitarbeiter einwirkt.

Sie summieren die Strahlung ab den Zeitpunkt der Aktivierung des Dosimeters. Das Messergebnis wird häufig in Form einer farblichen Änderung des Detektors angezeigt. Diese passiven Dosimeter sind in der Regel nur einmalig verwendbar.



Abbildung 20 passives Dosimeter der Fa. Mercurysafety

Quelle www.mercurysafety.com

Aktive, meist elektronische Dosimeter zeigen die Dosis unmittelbar z.B. auf einem Display an. Ein optisch, akustischer Alarm informiert den Träger beim Überschreiten von festgelegten Schwellwerten.

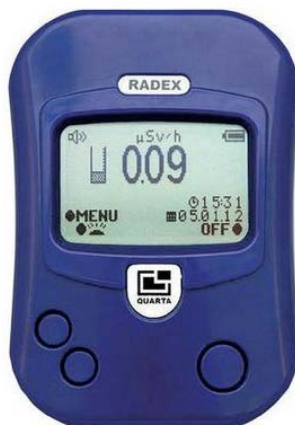
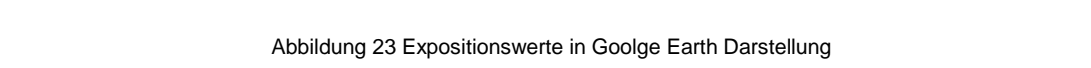


Abbildung 21 aktives Dosimeter der Fa. Quarta

Quelle <http://www.quartarad.com/>



Quelle ExpoM_RF_Fact_Sheet



6. Funkdienste in Österreich

6.1. Frequenzen und Dienste

Auflistung der wesentlichsten Funkdienste im Bereich von 5,9 MHz bis 6 GHz in Österreich nach der Frequenznutzungsverordnung 2013 [L32]

Band	untere Grenzfrequenz in MHz	obere Grenzfrequenz in MHz	Bemerkung
KW-Radio	5,9	26,1	in mehreren Bändern, dazwischen auch andere Anwendungen, zum Beispiel Kurzwellen Amateurfunkdienst
CB-Funk	26,565	27,405	11-m-Band generell bewilligt
Rundfunk Band II	87,5	108	UKW-FM-Radio (in Europa)
Flugfunk	108	137	Drehfunkfeuer (Very High Frequency Omnidirectional Radio Range, VOR) und Landekurssender (Localizer) des Instrumentenlandesystems (Instrument Landing System, ILS)
Amateurfunkdienst 2m	144	146	Funkdienst für die Erprobung und Kommunikation zwischen lizenzierten Amateurfunkern
Seefunk (UKW)	156	162	Mobiler Seefunkdienst (Ultrakurzwelle)
Rundfunk Band III	174	230	DVB-T/T2, DAB/DAB+, Funkmikrofone
Tetra	380	400	Digitaler BOS-Funk + Zivil- bzw. Betriebsfunk
Amateurfunkdienst 70cm	430	440	Funkdienst für die Erprobung und Kommunikation zwischen lizenzierten Amateurfunkern

Band	untere Grenzfrequenz in MHz	obere Grenzfrequenz in MHz	Bemerkung
ISM	433,05	434,79	Short Range Devices, Geräte für kleinststrecken Verbindungen, generell bewilligt
PMR	446,000	446,100	Private mobil Radio, generell bewilligtes Funkgerät mit geringer Leistung
Rundfunk Band IV& V	470	790	DVB-T, Funkmikrofone
Mobilfunk	790	862	LTE 800 (Digitale Dividende)
SRD	863	864,5	analoge Audioübertragungen (Funkkopfhörer, Funklautsprecher etc.)
SRD 868-MHz-Band	868		Short Range Device, Funk-Außenthermometer etc.
GSM 900	870,4	960,0	GSM-Netze Europa (Mobilfunk)
1,2-GHz-Band	1240	1300	Amateurfunkdienst 23cm
GSM 1800	1710	1880	GSM-Netze Europa (Mobilfunk)
DECT	1880	1900	Digital Enhanced Cordless Telecommunications (umgangssprachlich "Schnurlos Telefon")
UMTS	1885	2200	Mobilfunkstandard
ISM	2400	2500	Industrial, Scientific and Medical Band: Bluetooth, WLAN, RC-Modellbau, RFID, Wireless-MIDI, Funkmikrofone, Mikrowellenherd und medizinische Geräte
WLL	3400	3600	WiMAX Worldwide Interoperability for

Band	untere Grenzfrequenz in MHz	obere Grenzfrequenz in MHz	Bemerkung
			Microwave Access
ISM	5725	5875	WLAN, Funkmikrofone

Tabelle 7 Funkdienste in Österreich

Nachfolgend werden die technischen Grundlagen von ausgewählten Services/Diensten, sowie die derzeitige Situation in Österreich beschrieben.

Auf einigen Diensten wie Kurzwelle, wird nicht weiter eingegangen, da diese nur noch geringfügig genutzt werden. Bei Anwendungen über 5 GHz wie Richtfunk sind Messungen nur dann notwendig wenn der Messort in der ersten Fresnelzone liegt.

6.2. UKW Radio

Weltweit wird analoges UKW Radio im Band II (87,5 MHz bis 108 MHz) betrieben.

Das Audio Signal wird dabei gemeinsam mit den Zusatz Informationen (RDS, Stereo Pilot Ton...) zusammen (gemultiplext) auf einen Träger in FM (Frequenzmodulation) übertragen. Die Bandbreite eines Radiosenders muss nach der Recommendation der ITU-R SM.1268-3 [L18] auf ± 75 kHz beschränkt werden.

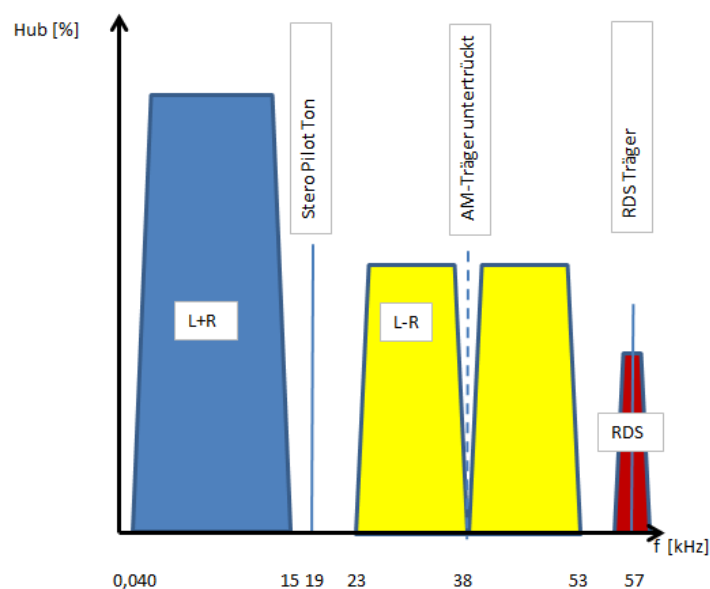


Abbildung 24 UKW MPX Signal

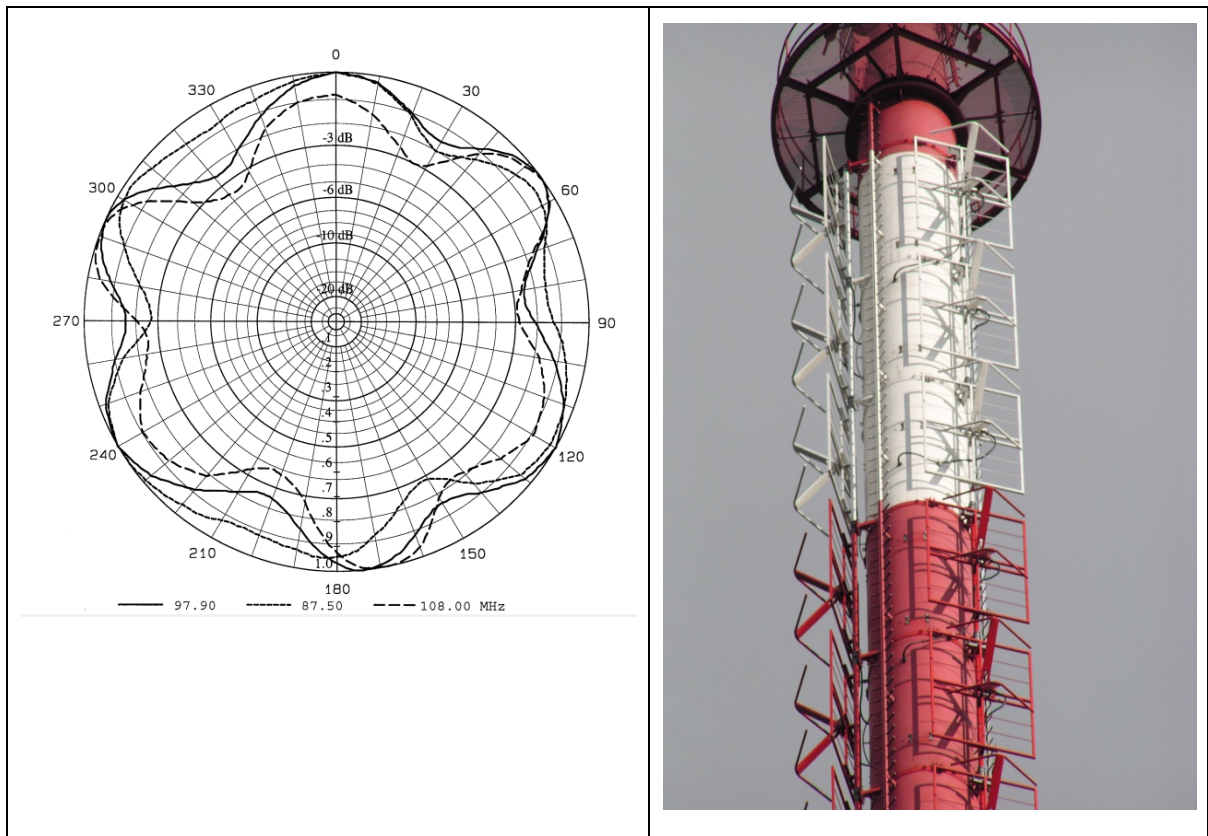


Abbildung 26 Antennensystem und Azimut Diagramm des ORS Sender Kahlenberg

Quelle ORS GmbH

Um die Gebiete versorgen zu können, die durch Abschattungen nicht erreicht werden, verwendet man UKW Kleinleistungssender mit Leistungen von 20 Watt ERP bis 1000 Watt ERP. Natürliche Hindernisse wie Gebirge können zu solchen Abschattungen führen.

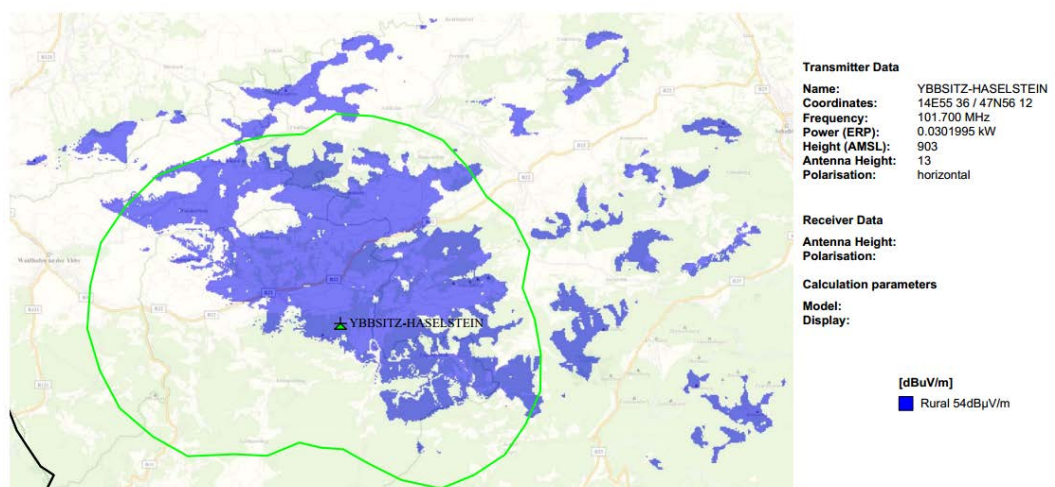


Abbildung 27 Ausbreitungskarte ORS Kleinleistung Sender Ybbs

Quelle: ORS GmbH

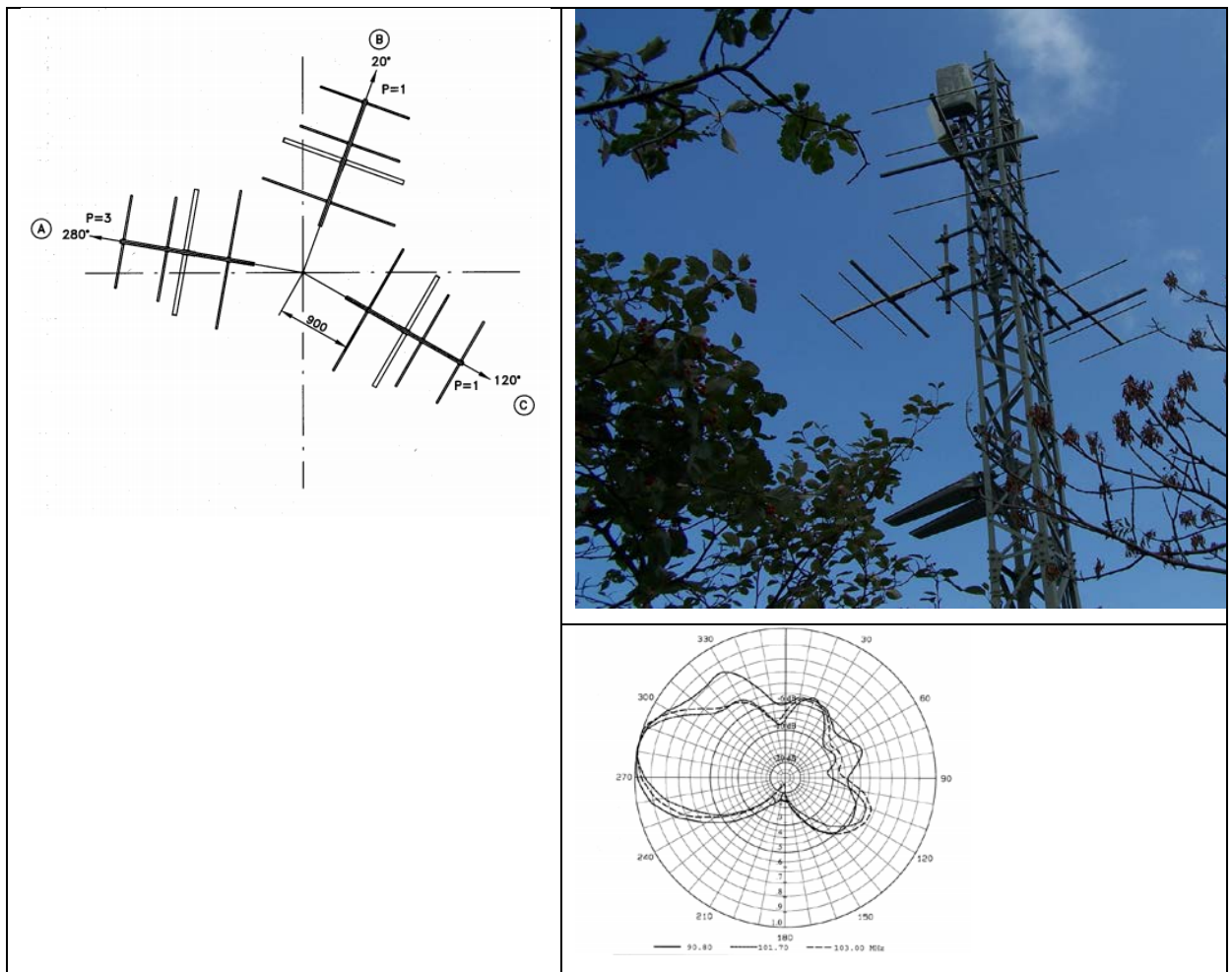


Abbildung 28 Antennensystem und Azimut Diagramm des ORS Sender Ybbs

Quelle: ORS GmbH

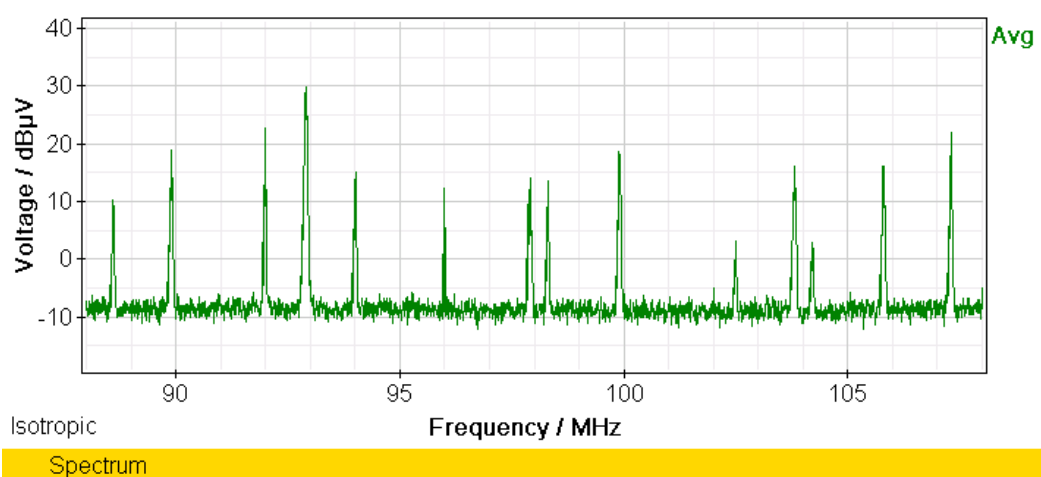


Abbildung 29 UKW Spektrum Standort Wien

6.3. DAB/DAB+

Digital Audio Broadcast ist die digitale Weiterentwicklung des terrestrischen analog UKW FM-Radio Standards.

Die Definition des Standards ist bei dem Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen - ETSI unter der EN 300 401[L14] ersichtlich. DAB/DAB+ kann seitens ETSI im Frequenzbereich von 30 MHz bis 3 GHz betrieben werden. DAB+ ist eine nicht abwärtskompatibel Erweiterung von DAB, wo unter anderem der Audiocodec verbessert wurde. In Österreich wird nur DAB+ verwendet, daher wird nachfolgend auch nur noch dieser Standard beschrieben.

Bei DAB+ beträgt die Senderleistung der einzelnen Sender, im Gegensatz zu UKW Sendern, nur bis ca. 10 000 Watt ERP. Um die gleiche große Versorgungsfläche erreichen zu können, werden mehrere Sender auf derselben Sendefrequenz betrieben. Diese senden das Programm als Gleichwellennetz aus.

Als Übertragungsverfahren wird *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM) verwendet. COFDM ist eine mit Fehlerschutz (Coded) versehene Art von OFDM. Bei COFDM werden wie bei OFDM die Daten auf viele Einzelträger aufgeteilt, daher wird es auch Vielträgerverfahren genannt. Auf den einzelnen Trägern wird mittels digitaler Modulation DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying) die Information auf den Trägern moduliert. Die einzelnen Träger stören sich gegenseitig nicht, da sich bei jedem Maximum eines Trägers der Nulldurchgang des Nachbarträgers befindet (Abbildung 30 OFDM Träger im Frequenzspektrum). Für DAB+ werden zum Beispiel 1536 Einzelträger verwendet, deren Abstand beträgt 1 kHz.

Der Trägerabstand entspricht dabei dem Umkehrwert der Symboldauer ($\Delta t \text{ Symboldauer} = 1 / \Delta f$).

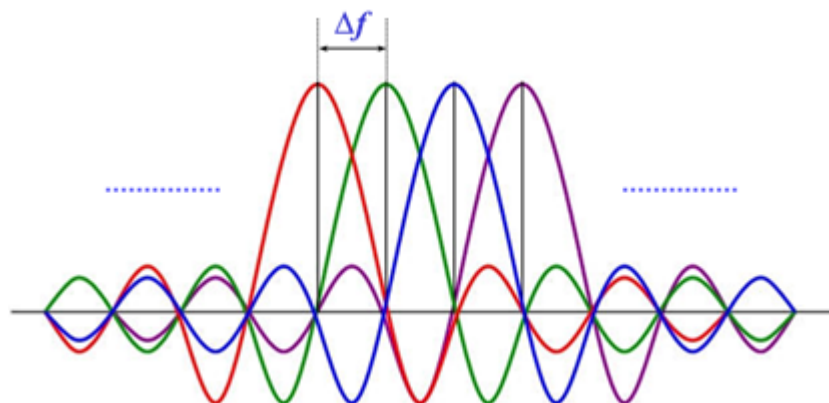


Abbildung 30 OFDM Träger im Frequenzspektrum

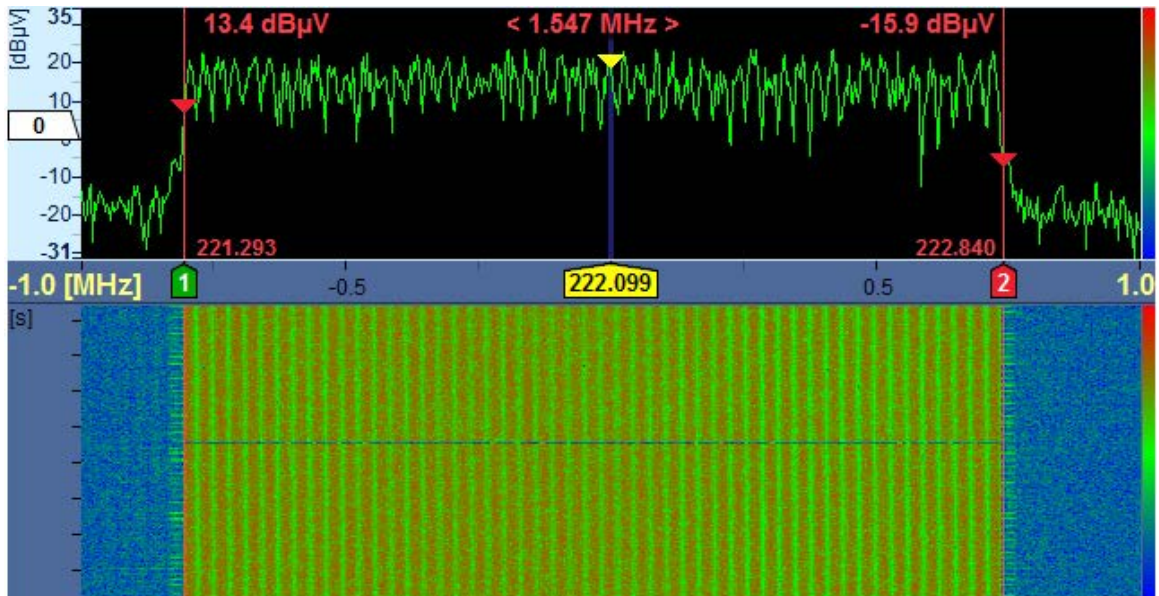


Abbildung 31 Spektrale- und Wasserfall Darstellung eines DAB+ Signal

Ein weiterer Vorteil bei OFDM ist die Robustheit gegenüber Interferenzen, die durch Überlagerungen der einzelnen Empfangssignale bei Mehrwegausbreitungen entstehen. Dabei kommt es durch Reflexionen, zu konstruktiven und destruktiven Interferenzen. Gerade bei den destruktiven Interferenzen, bei denen es im Worst Case Fall zu einer Auslöschung des Signals kommt, konnte es beim analogen Radio passieren, dass kein Programm mehr empfangbar war. Bei OFDM kann, durch die Aufteilung der Informationen auf viele einzelne Trägerfrequenzen, die Interferenz nicht das gesamte übertragene Spektrum betreffen. In Verbindung mit der Fehlerkorrektur ist es möglich, die ausgesandte Information wiederherzustellen. Diesen Vorteile machen sich auch andere, neuere Funkdienste, wie LTE, DVBT,... zunutze, die ebenfalls das OFDM Verfahren benutzen.

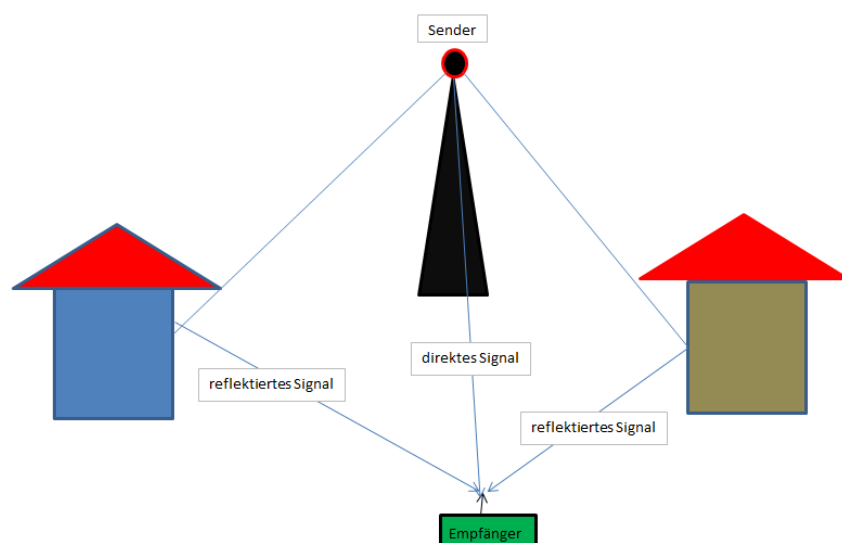


Abbildung 32 Mehrwegempfang (multipath)

Bei DAB+ werden die einzelnen Sender zu einem DAB+ Kanal zusammengefasst. Üblicherweise werden 4 bis 6 Radiosender in einem DAB+ Kanal übertragen. Die DAB+ Sender werden, in den durch die Umstellung von analog auf digital TV (DVBT/T2) freigewordenen Frequenzbereich Rundfunkband III betrieben. Die Bandbreite von DAB beträgt im Band III 1,5MHz. So können in einem analogen TV Kanal 4 DAB Kanäle übertragen werden. Im Kanal E09 finden daher die DAB Kanäle 9A - 9D Platz.

TV Kanal	Frequenzbereich in MHz
E05	174-181
E06	181-188
E07	188-195
E08	195-202
E09	202-209
E10	209-216
E11	216-223
E12	223-230

Tabelle 8 Frequenzen im VHF Band III

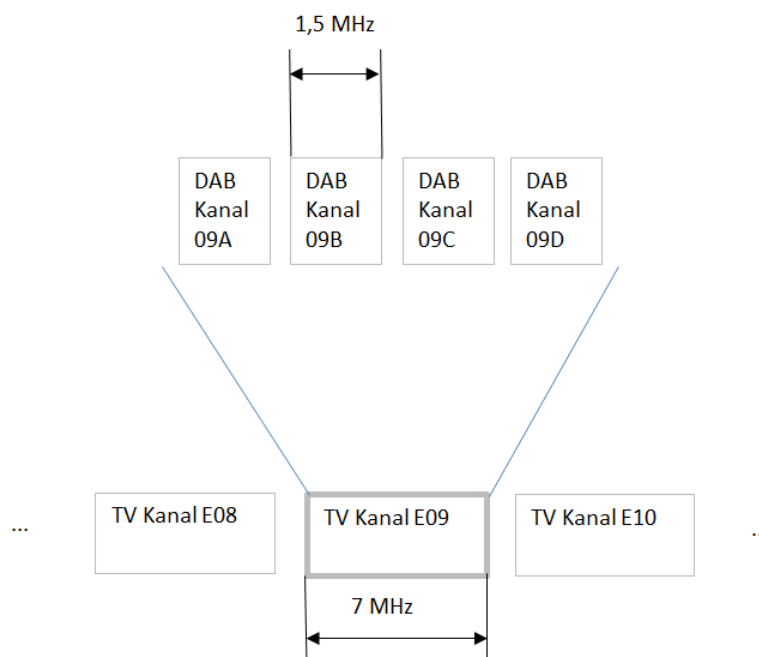


Abbildung 33 Aufteilung eines TV Kanals in 4 DAB Kanäle

In Österreich wurde im Mai 2015 der Testbetrieb für DAB+, im Frequenz Band III Kanal 11D mit 2 Sendestandorten als Gleichwellennetz, für einen Zeitraum von 12 Monaten begonnen. Der DAB+

Kanal 12B, ist mit einen Sendestandort, ebenfalls für die Erprobung in Betrieb genommen. Die Sender sind positioniert in

Wien 8 – Liesing: Block 11D/12B 222,064 MHz / 225,648 MHz jeweils mit 10kW ERP (Effective radiated power – abgestrahlte Leistung im Vergleich zu einen Dipol) vertikal polarisiert

Wien 9 – DC Tower 1: Block 11D 222,064 MHz 7kW ERP vertikal polarisiert

Der Sendestandort DC Tower ist mit 250m bis zur Antennenspitze das höchste Gebäude Österreichs. Mit diesem Standort kann der größte Teil Wiens mit nur einem Sender abgedeckt werden. Als Antenne wird eine Zusammenschaltung mehrerer gerichteter Antennen verwendet.

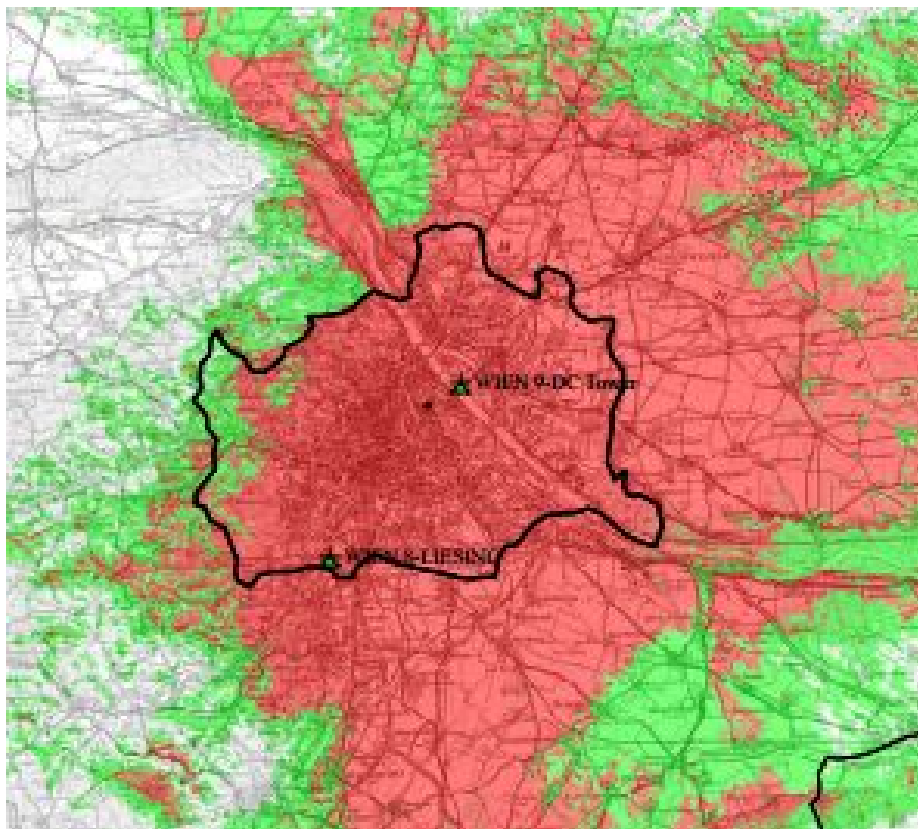


Abbildung 34 Versorgungskarte der DAB+ Sender in Wien

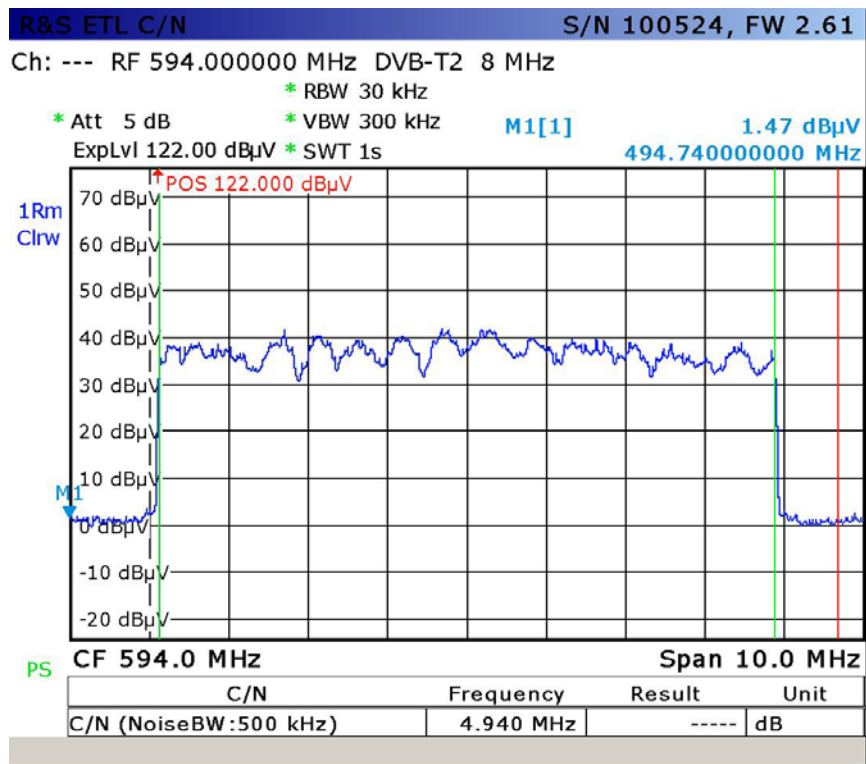
Quelle ORS- Österreichische Rundfunksender GmbH & Co KG



Abbildung 35 DAB+ Sender DC Tower Wien

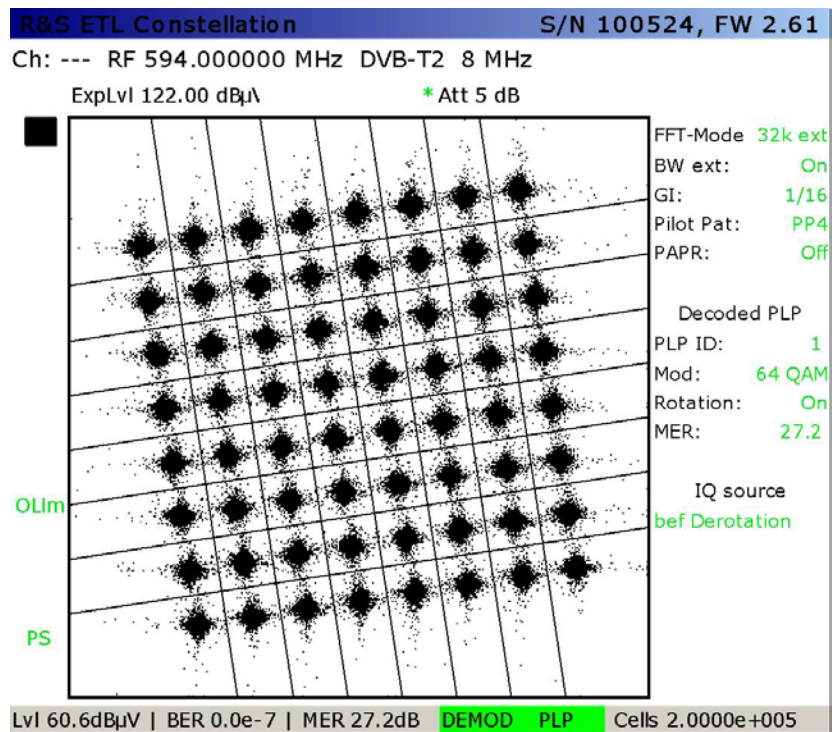
6.4. DVB-T / DVB-T2

DVB-T (**D**igital **V**ideo **B**roadcasting **T**errestrial) ist ein digitaler TV Standard, welcher den analogen TV-Standard PAL ablöst. Als Übertragungsverfahren wird, wie bei DAB, COFDM verwendet. Die Bandbreite kann 5,6,7 oder 8 MHz betragen. Bei der Weiterentwicklung DVB-T2 wurde eine höhere Modulationsart sowie ein verbesserter Audiocodec integriert. Es werden bis zu 6000 Einzelträger für COFDM verwendet. Auf jeden Einzelträger werden mittels QPSK, 16-QAM, 64-QAM oder 256-QAM die Informationen moduliert.



Date: 25.FEB.2016 17:25:03

Abbildung 36 Spektrale Aufzeichnung eines DVBT Signal K24mit R&S ETL in Wien



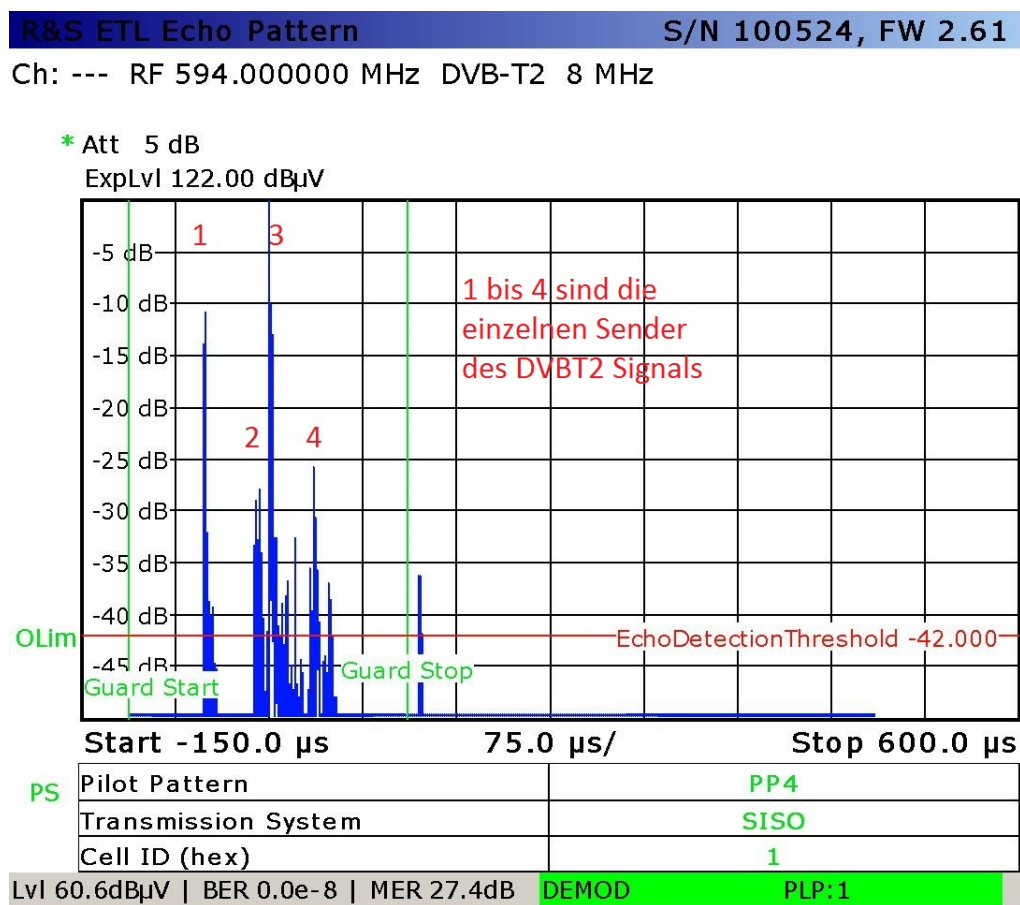
Date: 25.FEB.2016 17:25:17

Abbildung 37 KonstellationsdiagrammDVBT2 gemessen mit R&S ETL

In Abbildung 37 ist das Konstellationsdiagramm eines DVBT2 Sender ersichtlich. In diesem Diagramm werden die IQ Daten (In-Phase-&-Quadratur) grafisch dargestellt. Die Anzahl der dargestellten Punkte ergibt sich aus dem angewandten Modulationsverfahren. In diesem Diagramm ist ein 64-QAM (Quadraturamplitudenmodulation) Signal dargestellt. Je größer die einzelnen Punkte im Konstellationsdiagramm sind, desto verrauschter ist das Signal.

Pro DVBT Kanal werden zwischen 4 und 5 Fernsehsender (je nach Qualität der einzelnen Fernsehprogramme) sowie Daten, Radioprogramme und Steuerinformation übertragen. Der zusammengefasste Datenstrom wird als "Bouquet" bezeichnet.

Das Sendernetz wird ebenfalls, wie bei DAB als Gleichwellensendernetz betrieben.



Date: 25.FEB.2016 17:25:31

Abbildung 38 Einzelsender in einem Gleichwellensendernetz

In Abbildung 38 ist das Signal/Zeitdiagramm der einzelnen DVBT2 Sender bei Gleichwellenausstrahlung zu sehen. Die zeitlichen Unterschiede entstehen durch die Laufzeiten der einzelnen Sender, da der Abstand von Sender zu Empfänger unterschiedlich lang ist. Nicht beschriftete Spitzen entstehen durch Reflexionen oder Streuungen der Sendersignale. Innerhalb des Fenster Guard-Start und Guard-Stop kann durch mathematische Berechnungen das Originalsignal wiederhergestellt werden. Empfangssignale außerhalb der Guard-Stoplinie stören den Empfang.

Die einzelnen Sender werden auf Anhöhen, oder hohen Gebäuden errichtet Die Sendeleistung beträgt bei dem einzelnen Sender um 80 kW ERP und ist somit um ein Vielfaches geringer als bei den analogen TV Sendern (500kW).

Als Antennen werden Rundstrahlantennen bzw. eine Zusammenschaltung von mehreren Richtantennen verwendet.

Um die Indoor Versorgung zu gewährleisten, wurden besonders in Ballungsräumen Füllsender bzw. Indoor Repeater in Betrieb genommen.



Abbildung 39 Indoor Repeater

Quelle: Repeaterbooster.com

In Österreich wurde seit 2011 das analoge TV durch DVB-T ersetzt und danach das analoge Sendernetz abgeschaltet.

Seit 2015 wird das DVB-T durch seinen Nachfolger DVB-T2 (nicht abwärts kompatibel) ausgetauscht. Durch eine höherwertige Modulation der OFDM Einzelträger (bis 256 QAM), können mehr und höherauflösende Programme auf der gleichen Bandbreite abgestrahlt werden.

Ob sich die Exposition dadurch ändert ist noch offen, da der Endausbau der Sendeanlagen bzw. der notwendigen Füllsender noch nicht abgeschlossen wurde.

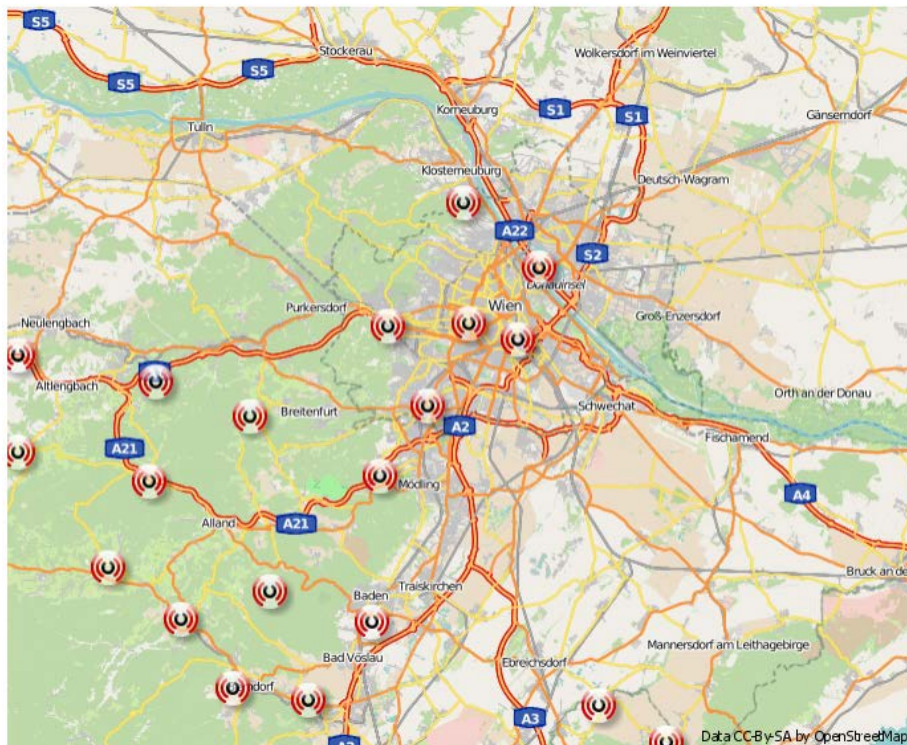


Abbildung 40 DVB T/T2 Sender im Großraum Wien Stand Juli 2015

Quelle www.RTR.at [L26]

6.5. DECT

DECT ist die Abkürzung für Digital Enhanced Cordless Telecommunications, der durch die ITU in ETSI EN 301 406[L22] als internationaler Standard für Mobilkommunikation definiert wurde. Besonders geeignet ist der DECT Standard für Telefonie im privaten und kommerziellen Bereich innerhalb von Gebäuden. Derzeit werden mittels DECT Standard immer häufiger andere Applikationen wie Funkmikrofone, Babyphone, Messdatenübertragung... betrieben.

Der Betrieb ist in Europa im Frequenzbereich Bereich von 1880 MHz bis 1900 MHz vorgesehen. Als Duplexverfahren wird TDD verwendet, das heißt, gesendet und empfangen wird auf dergleichen Frequenz. Der Frequenzbereich ist in 10 Kanäle mit je 1728 kHz Bandbreite aufgeteilt. Jeder Kanal wiederum ist in 24 Zeitschlitz zu 0,417ms unterteilt. Im Normalfall werden die Zeitschlitz synchron, in 12 Uplink Kanäle und 12 Downlink Kanäle, verwendet. Nach der ITU Spezifikation ist GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) als Modulation vorgesehen. Für die Weiterentwicklung sind bereits Modulationsverfahren mit höherwertigen Modulationen definiert.

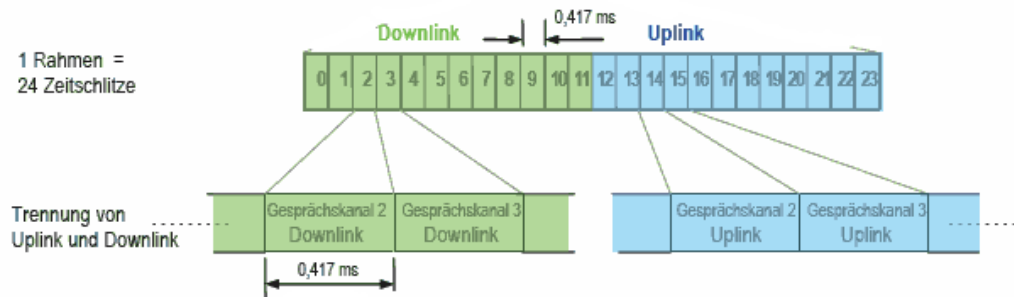


Abbildung 41 DECT Zeitschlitzes

Quelle ITU [L22]

Alle am österreichischen Markt erhältlichen Schnurlostelefone sind nur noch im DECT Standard erhältlich. DECT Systeme älterer Generation, senden in regelmäßigen Abständen Burst Signale zur Synchronisation und Übertragung von Statussignalen. Diese werden auch ausgesandt, wenn kein Mobilteil eingebucht ist.



Abbildung 42 DECT Mobilteil mit Basisstation

6.6. TETRA

TETRA ist die Abkürzung von **Terrestrial trunked Radio**, ein digitales Bündelfunksystem, das heißt ein Funksystem bei dem die einzelnen Benutzergruppen nicht mehr fix einen Kanal zugeordnet sind, sondern einer von vielen logischen Benutzergruppe auf diesem System angehören. Der Systemaufbau ist, wie bei öffentlichen Mobilfunksystemen, mit einzelnen Basisstationen vorgesehen. Das Behörden Tetra ist in Österreich unter dem Namen BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) bekannt.

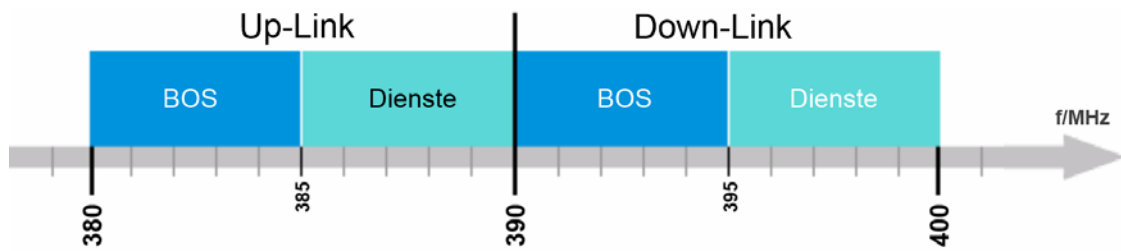


Abbildung 43 Frequenzaufteilung im TETRA Band

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

Für die Unterscheidung zwischen dem Up- und Downlink Bereich wird FDD (Frequenz Division Duplex), für den mehrfach Zugriff auf einen Kanal das TDMA (Time Division Multiple Access = Zeitmultiplex) Verfahren verwendet. Jeder Kanal ist in vier Zeitschlitz aufgeteilt, das heißt, dass maximal vier Gespräche pro Kanal möglich sind. Der Kanal auf dem die Statusinformationen übertragen werden, wird als MCCH (Main Control Channel) bezeichnet. Werden weitere Gesprächszeitzeitschlitz benötigt, sind weitere Kanäle (TCH) möglich.

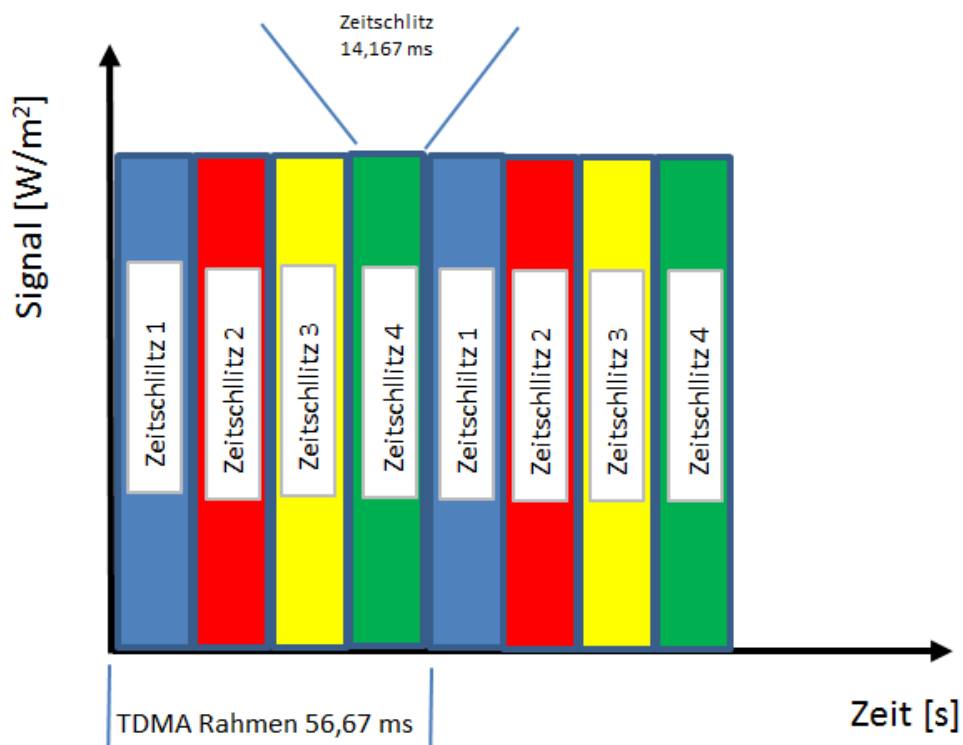


Abbildung 44 TDMA Zeitschlitz

Bei BOS Tetra Systemen beträgt die Sendeleistung der Basisstation typisch zwischen 20 und 40 Watt ERP, Mobilteile senden mit rund 1 bis 4 Watt. Pro Kanal werden 25 kHz Bandbreite benötigt. Im zivilen Tetra ist auch 12,5 kHz Bandbreite üblich.

Mögliche Modulationsarten sind $\pi/4$ -DQPSK oder $\pi/8$ -DQPSK bei Verwendung von Phasenmodulation, 4-QAM, 16-QAM oder 64-QAM bei Verwendung von Quadraturamplitudenmodulation.

Das BOS System soll in allen österreichischen Bundesländern den analogen Sicherheitsfunk ablösen. Technische Daten über die Senderstandorte sind aufgrund der Sicherheitseinstufung nicht öffentlich zugänglich. Als Antennen werden für die Basisstationen im urbanen Gebiet Sektor-Antennen und im ländlichen Raum Rundstrahl-Antennen verwendet.

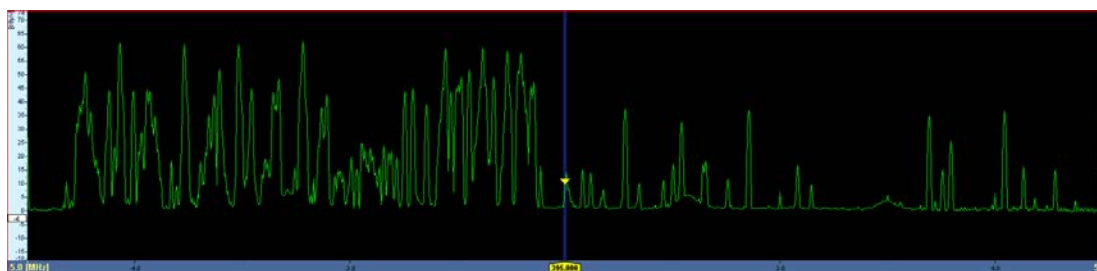


Abbildung 45 Spektrum Tetra 390-400 MHz im Großraum Wien

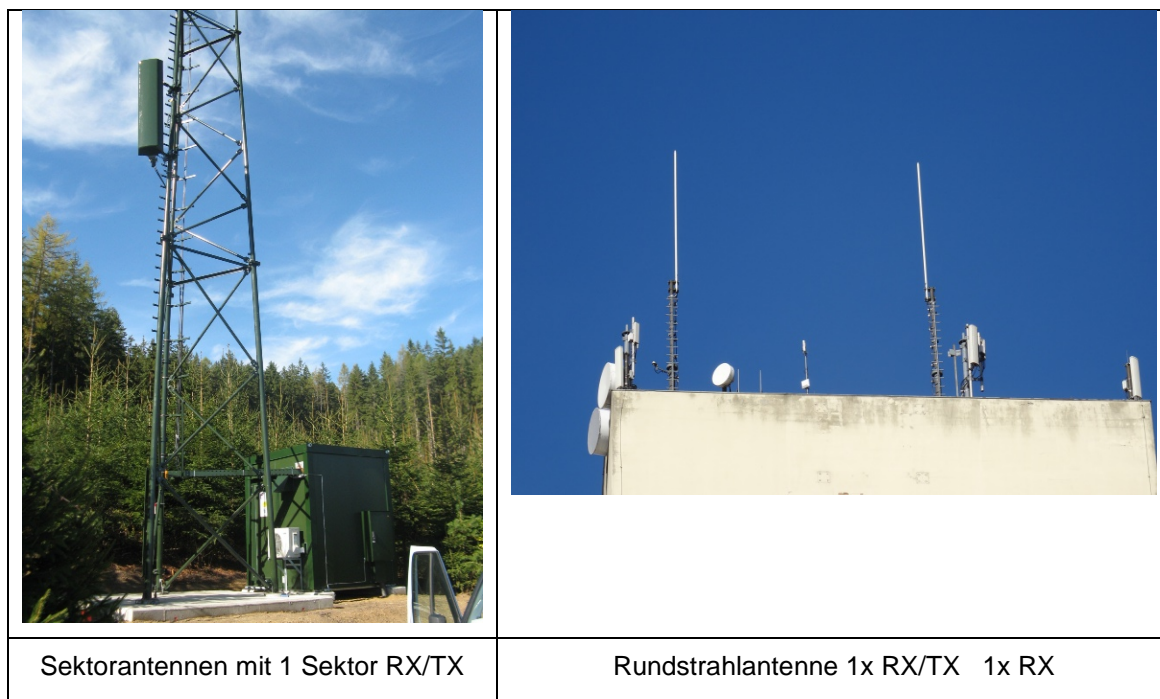


Abbildung 46 Antennen bei Tetra Basisstation

6.7. Öffentlicher Mobilfunk

6.7.1. Mobilfunkgenerationen

Das B-Netz (Frequenzbereich 150 MHz bis 160 MHz) wurde in Österreich 1974 als erstes öffentliches Mobilfunk Netz eingeführt. Als Weiterentwicklung wurde das B-Netz im Jahre 1985 durch das C-Netz abgelöst. Es war ebenfalls ein analoges Netz, das aber mit geringeren Leistungen aufgrund einer erhöhten Anzahl von Basisstationen auskam.

Die nächste Generation, auch noch analog und leitungsvermittelt, wurde von 1990 bis 2002 als D-Netz im 900 MHz Bereich im Betrieb. Seit diesem Zeitpunkt waren die Mobilgeräte schon klein und leicht genug um sie von da an auch tragbar und nicht nur festverbaut zu verwenden.

Das erste europaweit standardisierte Mobilfunk Netz war das GSM Netz (Global System for Mobile Communications), auch Mobilfunk 2.Generation genannt. Die Standardisierung wurde bereits in den 80er Jahren durch die CEPT begonnen. Weitergeführt und vollendet durch die Arbeitsgruppe 3GPP. In Österreich wurde das GSM Netz ab 1994 in Betrieb genommen. Es war bereits ein digitales, leitungsvermittelndes System. Aufgrund der hohen Anzahl von Teilnehmern die nur GSM unterstützen (z.B. Bankomatkassen, Steuerungssysteme, GSM Telefonwählgeräte, ...) ist derzeit auch noch kein Abschaltetermin vorgesehen.

Ab 2003 startete die 3. Mobilfunkgeneration, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ihren Sendebetrieb. Der Core Switch arbeitet bei UMTS Netzen bereits paketvermittelnd und nicht mehr leitungsvermittelnd.

In Österreich ist seit 2011 das derzeit aktuellste Mobilfunk Netz, das 4G Mobilfunk Netz auch LTE (Long Term Evolution) genannt, in Betrieb. LTE ist auf Datenübertragung ausgelegt und derzeit ist keine Sprachübertragung möglich. Für Sprache wird ein neuer Dienst VoLTE, Voice over LTE, im LTE Netz implementiert. VoLTE ist bereits bei allen österreichischen Providern im Test und wird in Kürze in den LTE Netzen freigeschaltet. Durch VoLTE sollen die GSM/UMTS Netze entlastet werden, da derzeit bei einem Voice Call auf eine niederwertigere Generation (UMTS oder GSM) umgeschaltet wird.

Generation	Technik	Übertragung	Max. Übertragungs- geschwindigkeit	Signal Band breite	maximale Leistung Basisstation	maximale Leistung Mobilteil
1G	AMPS	analog, leitungsvermittelt	-		20 Watt / Kanal	10 Watt
2G	GSM	digital, leitungsvermittelt	9,6 kBit/s	200 kHz	20 -30 Watt / Kanal	2 Watt

Generation	Technik	Übertragung	Max. Übertragungs- geschwindigkeit	Signal Band breite	maximale Leistung Basisstation	maximale Leistung Mobilteil
2.5G	HSCSD	digital, leitungsvermittelt	57,6 kBit/s	200 kHz	20-30 Watt/Kanal	2 Watt
	GPRS	digital, paketvermittelt	115 kBit/s	200 kHz	20-30 Watt / Kanal	2 Watt
2.75G	EDGE	digital, paketvermittelt	236 kBit/s	200 kHz	20-30 Watt / Kanal	2 Watt
3G	UMTS	digital, paketvermittelt	384 kBit/s	5 MHz	20 Watt / Sektor	0,25 Watt
3.5G	HSPA	digital, paketvermittelt	14,4 Mbit/s	5 MHz	20 Watt / Sektor	0,25 Watt
3.9G	LTE	digital, paketvermittelt	150 Mbit/s	1,4 MHz 20 MHz	40 Watt / Kanal	0,2 Watt
4G	LTE Advanced	digital, paketvermittelt	1 Gbit/s	1,4 MHz bis 20 MHz	40 Watt / Kanal	0,2 Watt
Zukünftig 5G	LTE	digital, paketvermittelt	offen	offen	offen	offen

Tabelle 9 Übersicht der Generationen beim öffentlichen Mobilfunk

6.7.2. GSM

GSM steht für „Global System for Mobile Communications“, es wird auch Mobilfunknetz der 2.Generation genannt.

Als Duplex Verfahren verwendet GSM das FDD (Frequenz Division Duplex) Verfahren. Die Signale werden dabei in zwei getrennten Frequenzbereichen gesendet und empfangen. Dabei werden die Signale, die zum Endgerät gesendet werden als Downlink, der Weg vom Mobilteil zur Basisstation

Uplink (Abbildung 47 Spektrum GSM 900) genannt. Jeder dieser Frequenzbereiche wird in Kanäle zu je 200 kHz Bandbreite geteilt.

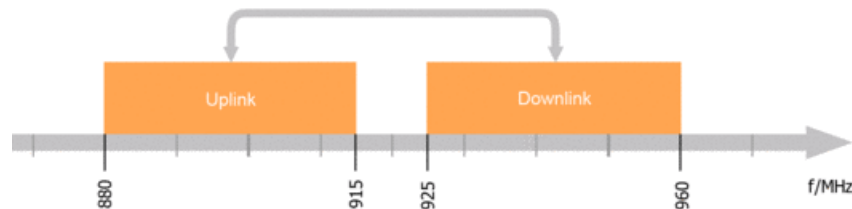


Abbildung 47 Spektrum GSM 900

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

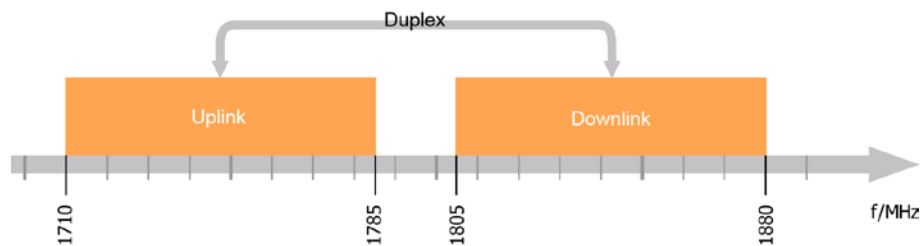


Abbildung 48 Spektrum GSM 1800

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

Die Daten werden dabei in GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), eine digitale Phasenmodulation bei der die Amplitude konstant bleibt, moduliert. Die bis zu acht Teilnehmer werden mittels Zeitmultiplex Verfahren TDMA (Time Division Multiple Access) auf einen Kanal (8 Zeitschlitze je Kanal) übertragen.

Jede GSM Basisstation sendet auf einen Kanal im Zeitslot 0 Steuerinformationen aus. Diese Steuerinformationen bestehen aus verschiedenen Kategorien von Steuersignalen (Channels), definiert sind diese in der ETSI Norm TS 145 002V13.0.0 [L19].

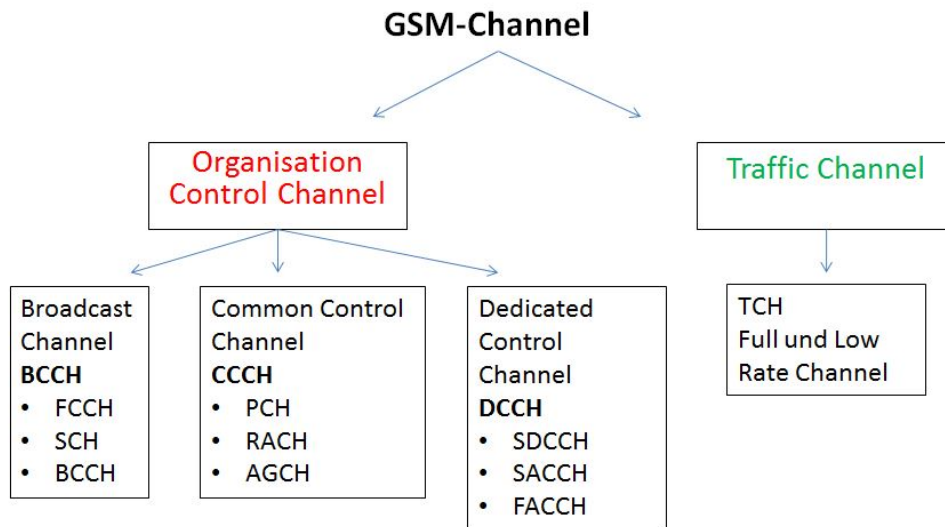


Abbildung 49 Organisation der GSM Channels

Im Broadcast Channel sind die Channels zusammengefasst für die unidirektionale Aussendung von Informationen der Basisstation an die Mobilgeräte erfolgt. Darin enthalten ist unter anderem der SCH zur Synchronisation. Ein wichtiger Channel im BCH ist der BCCH (Broadcast control channel), durch diesen erhalten die Mobilteile Statusinformationen und Informationen über die Basisstation und der Nachbarbasisstationen. Die gesamten Steuer und Informationskanäle werden unter den Begriff Control Channel zusammengefasst. Der Organisation Control Channel benötigt jedoch nicht alle 8 Zeitschlitz, sondern nur den Zeitschlitz 0 und zeitweise auch den Zeitschlitz 1, für die Datenübertragung. Die restlichen Zeitschlitz können als TCH (Traffic Channel) verwendet werden. Der TCH wird für die Nutzdaten (z.B. Gespräche, Daten,...) verwendet. Dieser Kanal der den BCCH enthält wird als BCCH Träger bezeichnet. Nicht verwendete Zeitschlitz werden mit Leerinformationen (Dummy Informationen) aufgefüllt.

Ein Kanal dem alle Zeitschlitz TCH Channels zugeordnet sind, also nur Nutzdaten übertragen, wird in der Literatur auch als TCH (Traffic Channel) bezeichnet. Die TCH werden, in der Sendeleistung an die Qualität und Gegebenheiten der Übertragungsstrecke, mittels TPC (Transmit Power Control) angepasst. Gesendet wird nur während der Zeit in der eine Übertragung durchgeführt wird, das heißt ein Zeitschlitz mit Daten gefüllt ist.

Im GSM Standard sind zwei Arten der Frequenznutzung definiert. Bei der ersten sind der BCCH und die TCH Kanäle während der gesamten Betriebsdauer auf den voreingestellten GSM Kanälen. Die zweite Möglichkeit der Frequenznutzung kann die Basisstation, bei Störungen im Spektrum, die TCH Kanäle automatisch auf andere vordefinierte Frequenz Kanäle umschalten. Diese Möglichkeit der dynamischen Frequenznutzung wird Frequenzhopping genannt. Einzig der BCCH Kanal muss nach dem Standard immer auf dem fix eingestellten Kanal senden.

In der Praxis gibt es bei einer Basisstation, pro Sektor einen BCCH Kanal, dem bis zu vier TCH Kanäle zugeordnet sind. Genauere Angaben zu den verwendeten Kanälen und welcher Kanal der BCCH Kanal ist, können beim Netzbetreiber eingeholt werden.

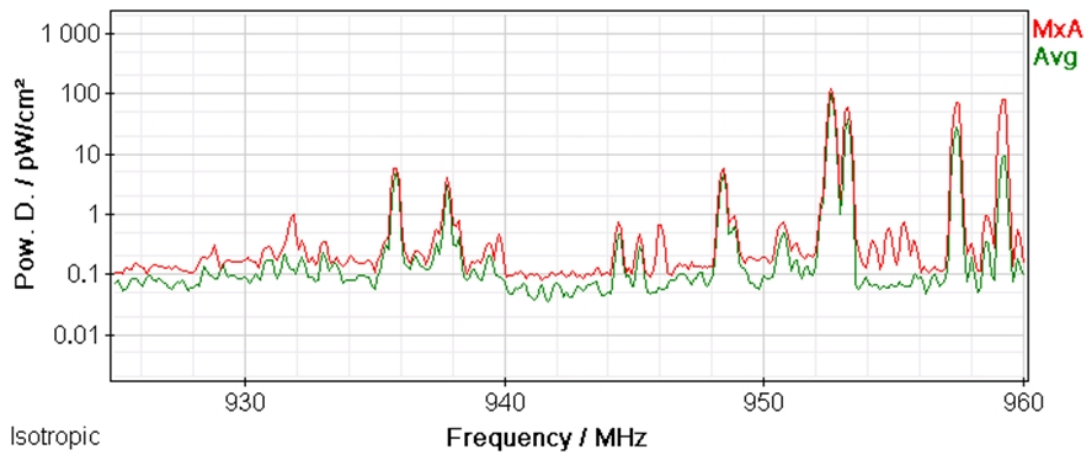


Abbildung 50 Spektrum GSM 900

Im Frequenzspektrum sind in Österreich die zwei Frequenzbereiche, 900 MHz und 1800 MHz für GSM vorgesehen. Der 900 MHz Bereich ist seit August 2014 nicht mehr exklusiv für GSM, sondern auch für UMTS und LTE freigegeben. Im 1800 MHz Band darf neben GSM auch LTE verwendet werden. Diese Möglichkeit der Mischnutzung wurde durch die Technologieneutralität dieser Frequenzbänder ermöglicht. Die Betreiber nutzen die Mischnutzung auch schon aus um die ältere Mobilfunkgeneration GSM, durch Kanäle des LTE Mobilfunknetzes zu ersetzen (siehe Abbildung 51 gemischte Nutzung des 1800 GSM Bandes). Der Frequenzbereich wird derzeit durch Refarming (Verschiebung der Frequenzblöcke zwischen den Betreibern), in mehreren Phasen zu größeren Frequenzblöcken für die einzelnen Betreiber zusammengefasst.

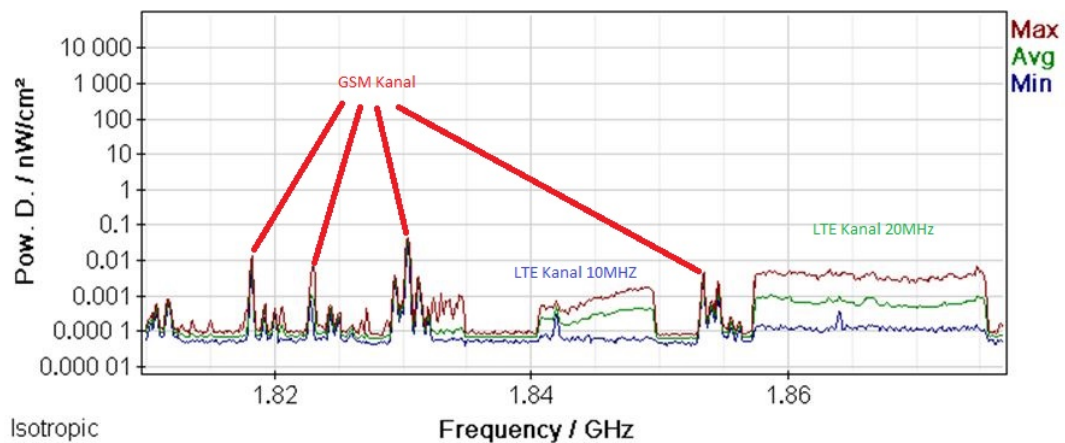


Abbildung 51 gemischte Nutzung des 1800 GSM Bandes

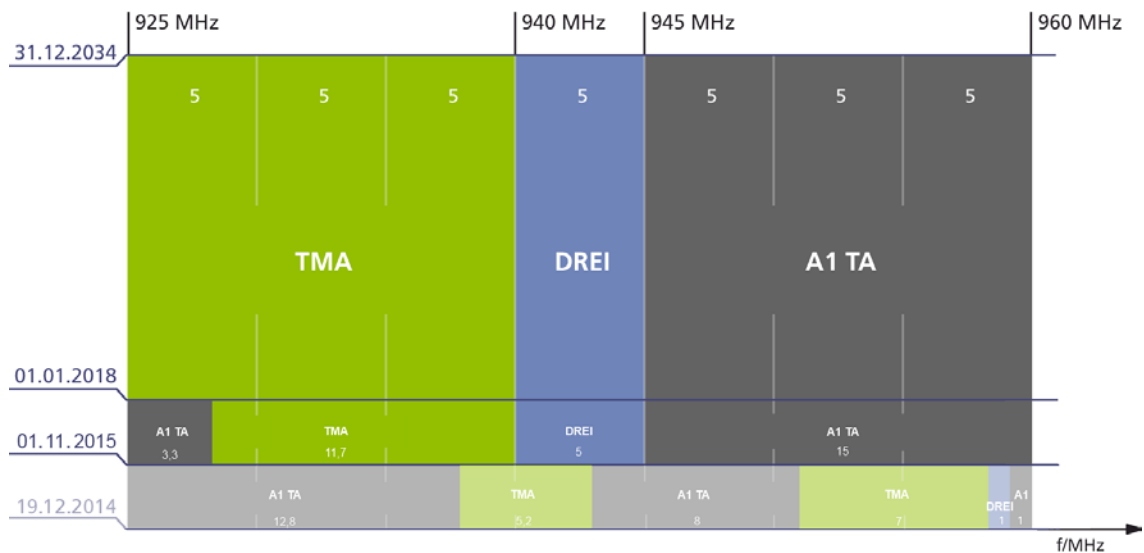


Abbildung 52 900MHz Frequenzspektrum und Refarming
Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

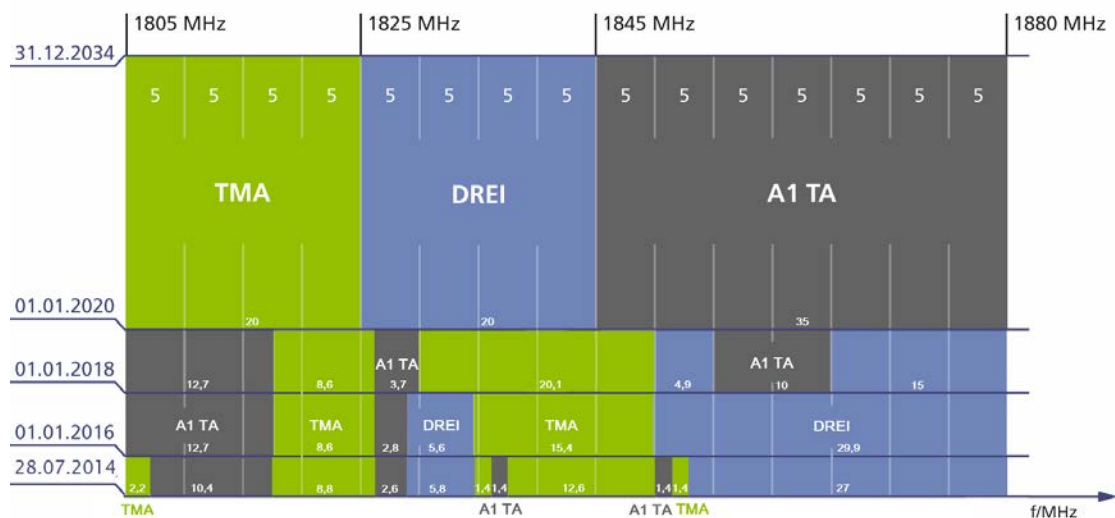


Abbildung 53 1800MHz Frequenzspektrum und Refarming
Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

Um das begrenzte Frequenzspektrum besser und mehrfach zu nutzen, ist es notwendig, die Netzabdeckungszellen klein zu halten. Daher werden im urbanen Gebiet nur Sektor Zellen verwendet, im ländlichen Gebiet aber auch Rundstrahlantennen eingesetzt.

6.7.3. UMTS

Bei UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) wurden für die Übertragung zwei unterschiedliche Duplex Arten definiert. FDD (Frequenz Division Duplex) wie auch schon bei GSM und TDD (Time Division Duplex) bei dem die Up- und Downlink Frequenz ident ist. TDD wird auch bereits bei DECT verwendet und ist in diesem Kapitel näher beschrieben.

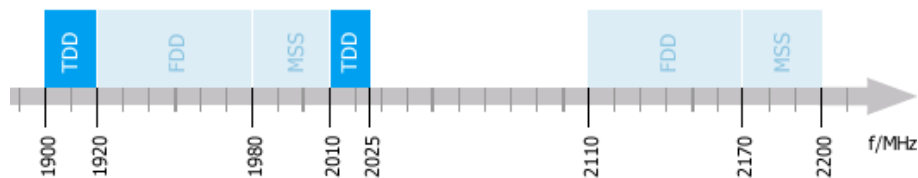


Abbildung 54 UMTS FDD und TDD Frequenzbereiche

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

Der Mehrfachzugriff – Multiple Access wird mittels CDMA (Code Division Multiple Access) Verfahren durchgeführt. Dabei werden die Übertragungsdaten von jedem Teilnehmer mit einem Spreizcode multipliziert und dann mittels QPSK übertragen. Der Empfänger kann dann mittels Rückrechnung über den Spreizcode die einzelnen Teilnehmersignale aus dem Signalgemisch herausrechnen. Ab einer maximalen Anzahl von Teilnehmern, können aufgrund des erhöhten Grundrauschens, die einzelnen Signale nicht mehr korrekt decodiert werden. Diese Eigenschaft begrenzt die Teilnehmeranzahl.

Um die einzelnen UMTS Sektoren unterscheiden zu können, ist jeder dieser 5 MHz breiten Kanäle mit einem zusätzlichen Scrambling Code versehen. Bei einem Mehr-Sektor Betrieb ist jeder Sektor mit einem eigenen Scrambling Code codiert, da alle Sektoren auf der gleichen Frequenz senden.



Abbildung 55 UMTS Basisstation mit 3 Sektoren Scramblingcode

Der UMTS Betrieb ist in Österreich im Bereich 2100 MHz, das auch für LTE freigegeben ist und dem 900 MHz Bereich möglich.

Der Frequenz Bereich für den TDD Betrieb wurde in Österreich ebenfalls versteigert, wurde jedoch noch von keinem Betreiber implementiert.

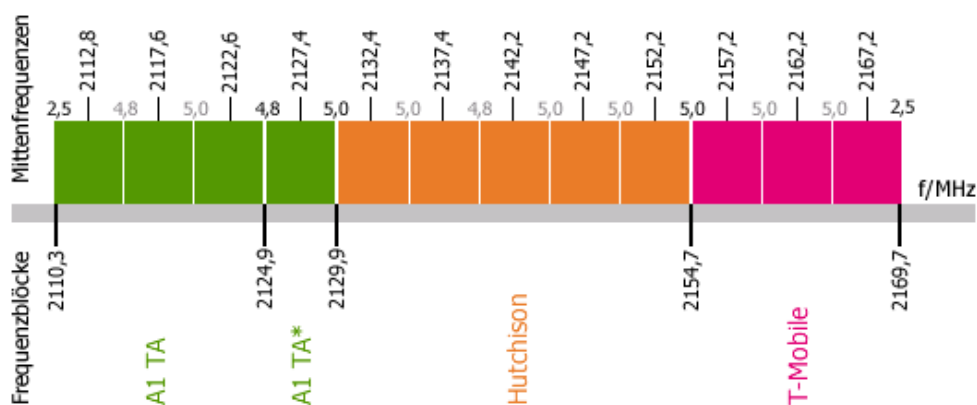


Abbildung 56 UMTS Kanäle im 2100MHz Band

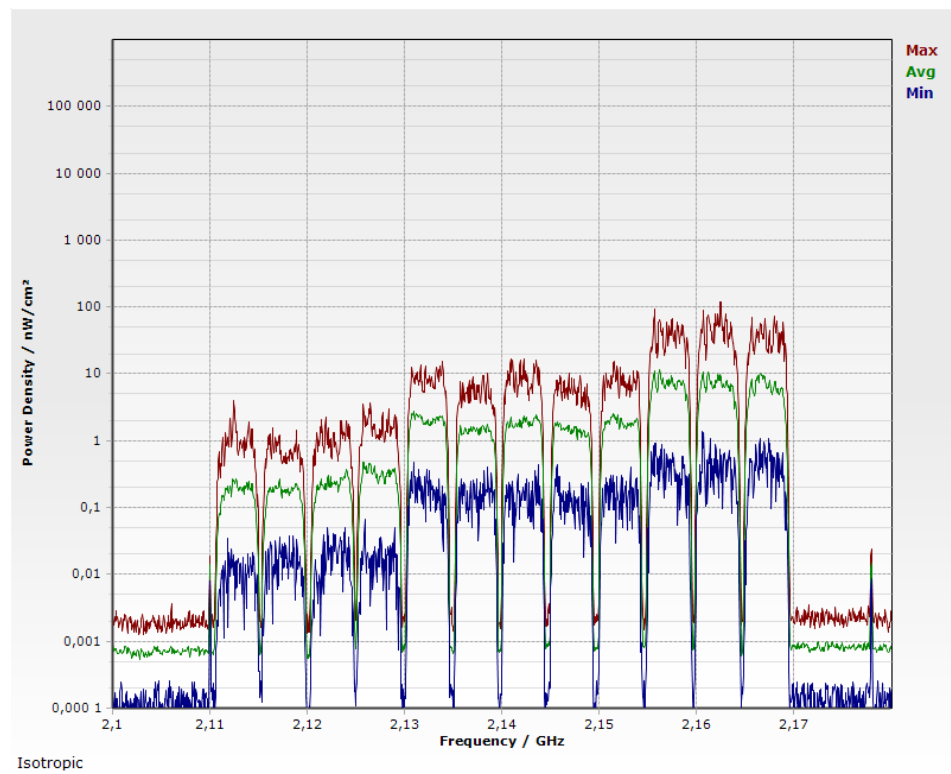


Abbildung 57 UMTS 2100 mit allen verfügbaren Frequenzen

UMTS Basisstationen werden in Österreich nur mit Sektor Antennen ausgestattet. Ausnahmen bilden dabei die Kleinstzellen, wie Picozellen und Femtozellen mit einem geringen Versorgungsradius von mehreren Metern, bei denen Rundstrahlantennen eingesetzt werden.



Abbildung 58 Picozellen Antenne

6.7.4. LTE Long Term Evolution

LTE ist die aktuellste Mobilfunktechnologie, sie wird auch Mobilfunk 4.Generation genannt. Für die Unterscheidung der Empfangs und Senderichtung (Duplex) wird FDD verwendet. Der Teilnehmer Multiple Access in Downloadrichtung d.h. von Basisstation zu Endgerät, wird mittels OFDM durchgeführt (Detail Infos über OFDM siehe bei DAB).

Als Modulation der einzelnen Träger, wird in Abhängigkeit von der Qualität von PSK bis 64 QAM verwendet. Die Basisstation kann, je nach Qualität der Übertragung, die Modulation verändern.

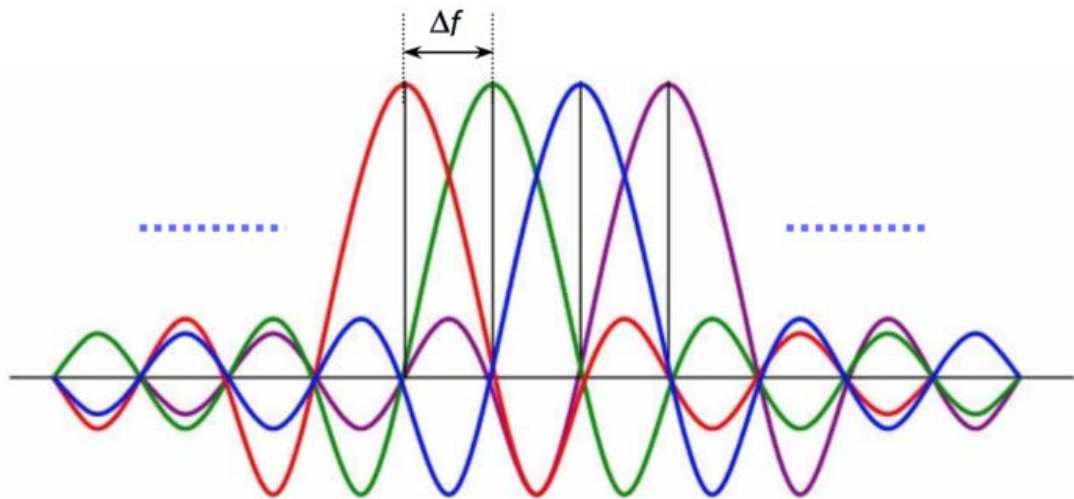


Abbildung 59 OFDM Spektrum

Quelle <http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2015/3/how-ofdm-subcarriers-work>

In der Gegenrichtung, dem Uplink, also bei der Übertragung vom Endgerät zur Basisstation, verwendet man dagegen SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

SC-FDMA ist ähnlich wie OFDM, aber besser geeignet für die geringere Sendeleistung beim Endgerät.

Die Ressourcenblöcke sind die kleinste Einheit bei LTE, jeder Block besteht aus 12 Subträgern und ist 0,5 s lang. Bei Bedarf werden diese Blöcke dynamisch den einzelnen Teilnehmern zugeordnet.

Ist die Download oder Upload Datenmenge größer, können auch mehrere Ressourcenblöcke in der gleichen Zeit für den einzelnen Teilnehmer verwendet werden.

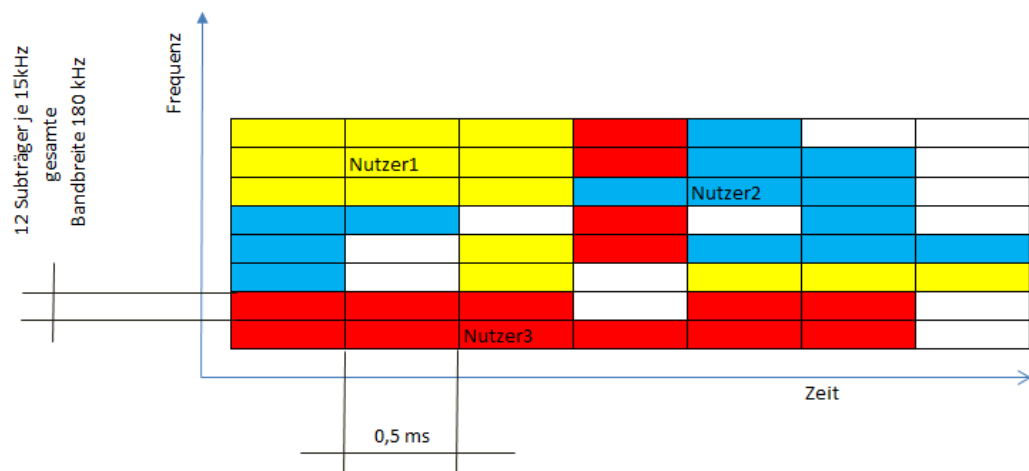


Abbildung 60 Ressourcenblock Zuteilung bei LTE

Die RTR (Rundfunk und Telekommunikations Regulierungs-GmbH) hat LTE auf allen derzeit versteigerten Mobilfunkbändern freigegeben. Von den Betreibern wird LTE derzeit exklusiv im 800MHz Band und im 2600MHz Band betrieben. Die restlichen Bänder müssen von den Betreibern erst langfristig umgestellt werden, da diese noch mit anderen Mobilfunkgenerationen belegt sind. Viele Endgeräte sind derzeit noch immer in Betrieb bzw. werden auch noch neu verkauft, welche den LTE Standard nicht unterstützen daher können die anderen Mobilfunk Generationen auch nicht komplett aufgelassen werden. Eine Mischnutzung der verschiedenen Mobilfunk Standards in einem Frequenzband ist ebenfalls vorgesehen, siehe auch bei GSM 1800 MHz. LTE ist als Datennetz konzipiert, Sprache sollte weiterhin über GSM und UMTS erfolgen. Durch die Einführung von VoLTE (Voice over LTE) kann jedoch auch der Sprachverkehr über LTE erfolgen, dadurch werden in Zukunft weitere Frequenzblöcke auf LTE umgestellt.

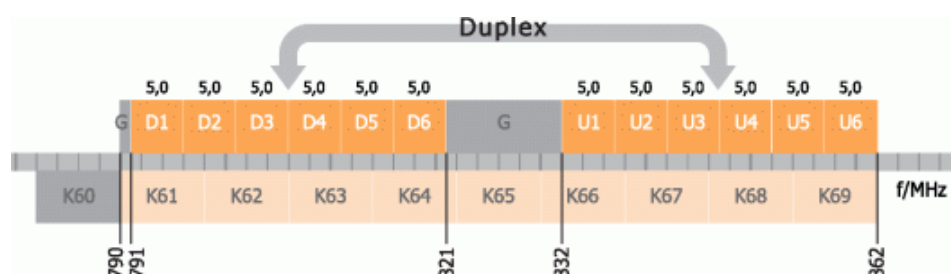


Abbildung 61 800MHz Frequenzspektrum

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

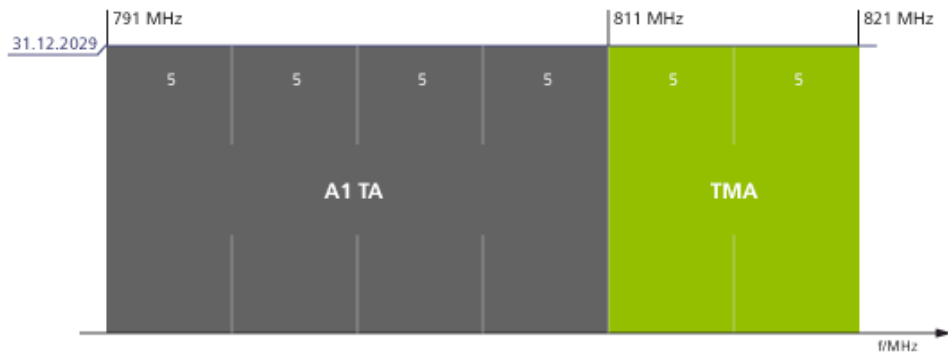


Abbildung 62 800MHz Frequenzblockaufteilung

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

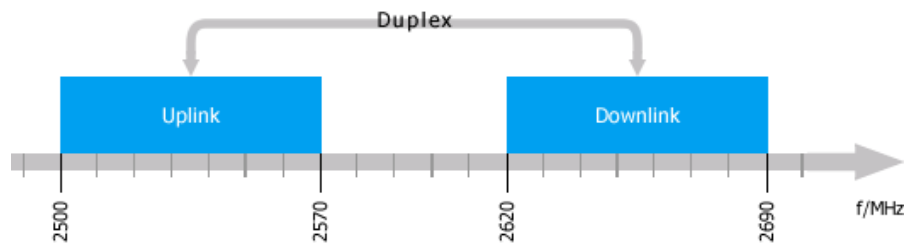


Abbildung 63 2600MHz Frequenzspektrum

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

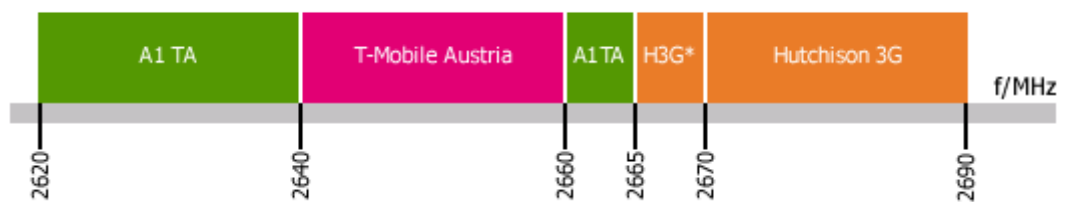


Abbildung 64 2600MHz Frequenzblockaufteilung

Quelle: Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH) [L29]

Der Betreiber kann bei LTE, im Unterschied zu den vorangegangenen Generationen, verschiedene Bandbreiten (1,4; 3,0; 5,0; 10,0; 15,0 und 20,0 MHz), je nach Verfügbarkeit seiner Frequenzen einstellen.

In Downlink Richtung setzt LTE, zur Erhöhung der Datenrate auf das MIMO (Multiple Input - Multiple Output) Verfahren. Dabei wird der Datenstrom auf mehrere Antennen im selben

Frequenzbereich aufgeteilt und abgestrahlt. Der Empfänger, meist das Mobilgerät muss die einzelnen Datenströme einzeln empfangen und dekodieren können. Die einfachste Variante ist 2x2 MIMO bei dem 2 Sendeantennen und 2 Empfangsantennen verwendet werden, wobei die Antennendipole um 90 Grad versetzt angeordnet sind. Bei 2 Datenströmen wäre theoretisch der doppelte Durchsatz möglich. Bei 4x4 MIMO werden 4 Sende und 4 Empfangsantennen notwendig, ebenso ist der Rechenaufwand für das Empfangsgerät schon um ein vielfaches höher, maximal ist laut Spezifikation 8x8 MIMO möglich.

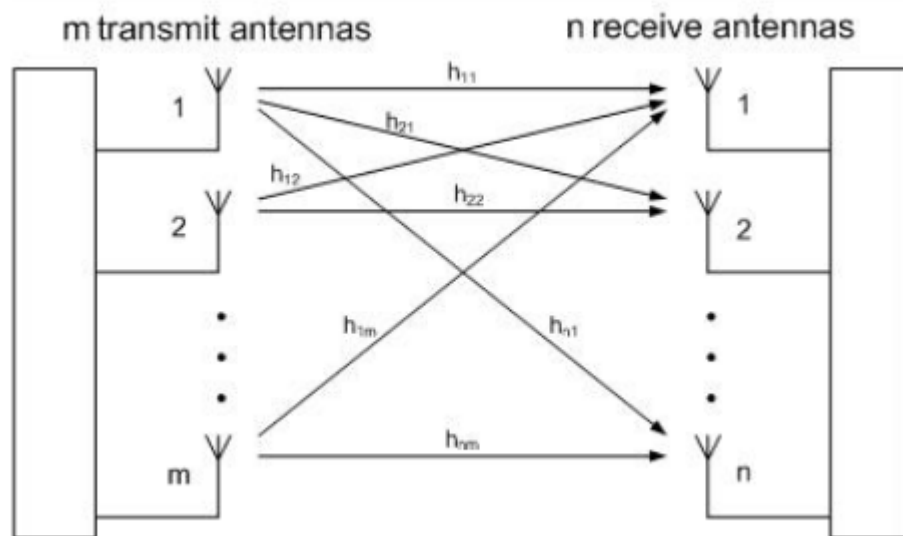


Abbildung 65 MiMO Prinzip mit "m mal n" Pfaden

Quelle R&S [L30]

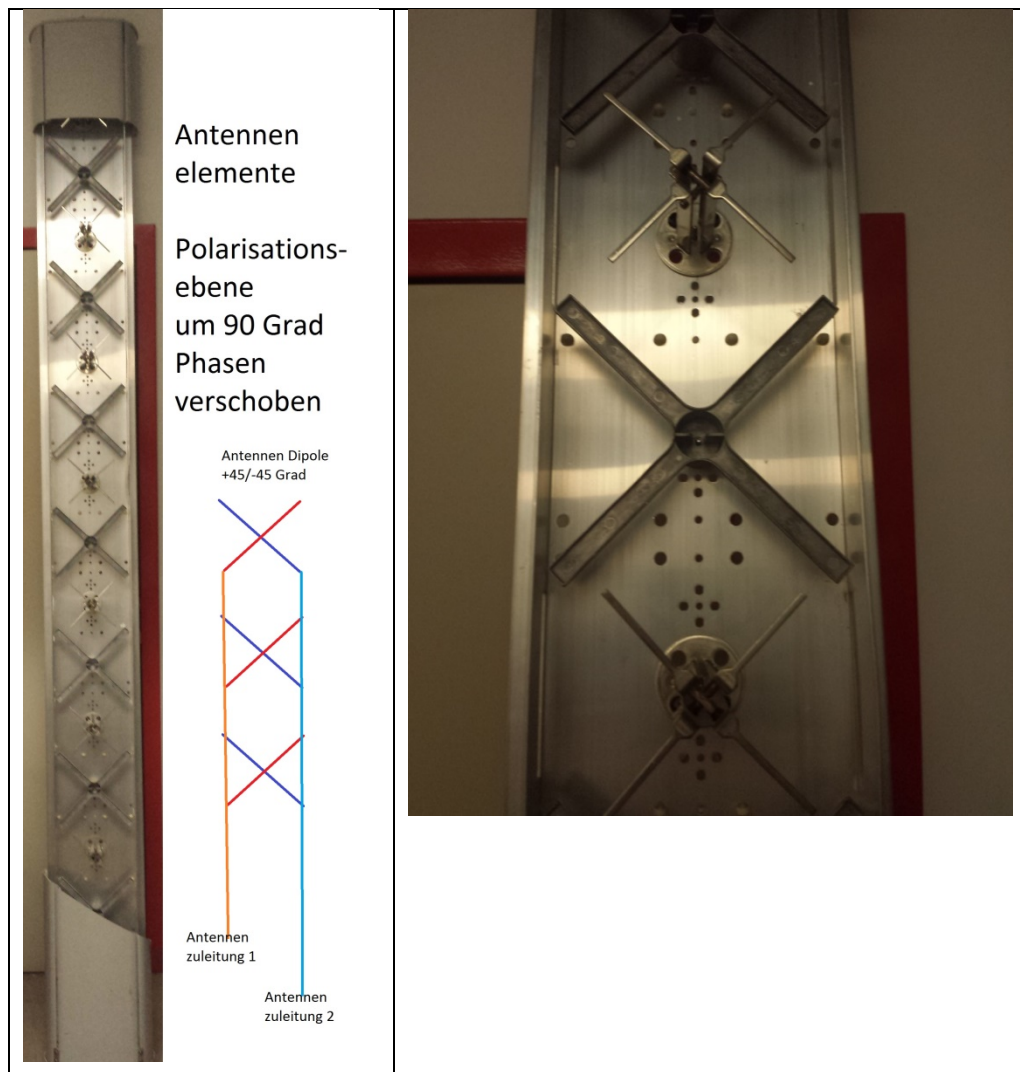


Abbildung 66 Aufbau einer LTE Antenne für 2 x 2 MIMO

7. Messungen

7.1. Möglichkeiten der Bewertung und Extrapolation der Messergebnisse

Broadcastsender wie z.B. Rundfunksender, die ihre Informationen unidirektional an die Teilnehmergeräte senden, senden während der gesamten Übertragung mit der gleichen Sendeleistung. Auch ist ihre Sendeleistung unabhängig von den Empfangsgeräten.

Anders sieht es bei den meisten bidirektionalen Funkdiensten, wie Mobilfunkdienste, Tetra, DECT,... aus. Diese Sender strahlen nur für die Zeit und nur auf den Frequenzen Energie ab, in denen Informationen übermittelt werden. Bei der Expositionsmessung kann aufgrund dieser Sendereigenschaften keine Aussage über die maximal auftretende Belastung der

elektromagnetischen Felder getätigt werden. Zu unterschiedlichen Messzeitpunkten werden unterschiedliche Messergebnisse am gleichen Ort gemessen, je nachdem wie die Auslastung der Sender zu den Messzeitpunkten ist. Die beiden Extremfälle sind

- kein Teilnehmerverkehr findet statt. Die Feldstärke ist daher am geringsten (Unterbewertung der Belastung)
- volle Auslastung auf allen Kanälen, bei diesem Zustand wäre die maximalauftretende Feldstärke vorhanden und kann daher auch direkt zur Prüfung auf Einhaltung der Grenzwerte verwendet werden.

In der Praxis tritt meist ein Zustand zwischen den beiden Extremen auf und das gemessene Signal muss daher nachträglich bewertet werden, um mittels Hochrechnung auf den Extremfall der maximalen Auslastung zu schließen. Dieser berechnete Wert kann dann als Basis für die Betrachtung der Einhaltung der Grenzwerte herangezogen werden. Je nach Funkdienst ist eine andere Berechnungsmethode notwendig.

7.1.1. DECT

Bei DECT werden nur die Zeitschlitz gesendet die für die aktiven Verbindungen verwendet werden. Für die Hochrechnung auf maximale Aussendung ist es notwendig die Feldstärke des Zeitrahmens mit maximaler Leistung zu messen und diesen auf allen verbliebenen Zeitrahmen anzuwenden.

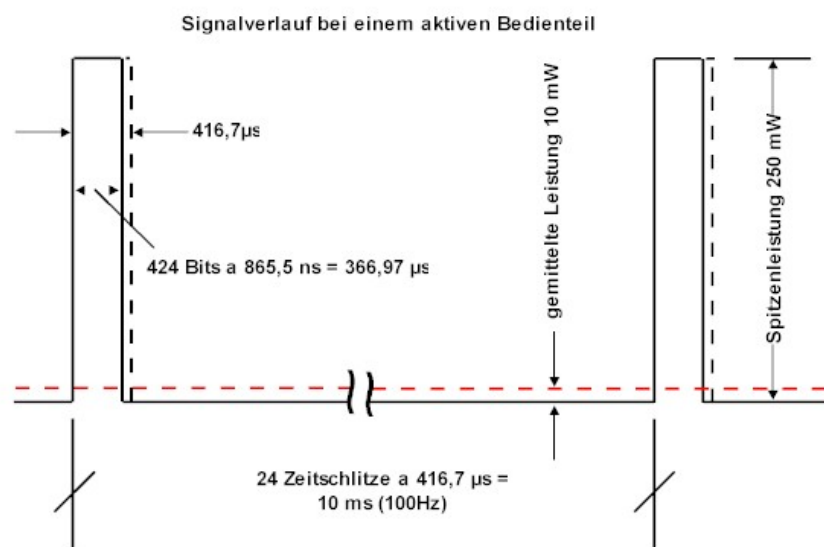


Abbildung 67 DECT Signal im Zeitverlauf

Würde nur ein Zeitschlitz gemessen und dieser über die gesamte Zeit gemittelt werden, so ist die Messung stark unterbewertet. Beispielsweise wäre bei Messung von nur einem aktiven Zeitschlitz die gemittelte Leistung 10 mW, wären alle Zeitschlitz der Basisstation aktiv, so würde die gemessene Sendeleistung 250 mW betragen. Erfahrungswerte zeigen jedoch, dass selten ein DECT System voll ausgebaut ist und alle Zeitschlitz verwendet werden. Die Hochrechnung auf alle Zeitschlitz wäre daher keine praxisnahe Betrachtung und führt zu Überbewertung der EMVU

für diesen Frequenzbereich. Der Messwert soll daher ohne Hochrechnung übernommen werden, es sollte jedoch sichergestellt werden, dass alle möglichen Verbindungen aktiv sind.

7.1.2. GSM

Bei vollausgelasteter GSM Basisstation würden alle Kanäle mit maximaler Sendeleistung senden. In diesem Zustand könnte die gesamte maximale Senderleistung gemessen werden. Da jedoch nicht immer alle Zeitschlitzte der TCHs benötigt werden, ändert sich die Sendeleistung der Basisstation dynamisch. Dadurch kann nicht direkt die gemessene Leistung der Basisstation für die Expositionsbewertung herangezogen werden. Bei dem BCCH sind alle Zeitschlitzte entweder mit Nutzdaten, Organisationsdaten oder Dummy Daten befüllt, daher sendet dieser Kanal mit konstanter maximaler Sendeleistung. Durch die konstante Leistung kann, das Mobilteil auch seine Entscheidung über die beste zu empfangende Basisstation ermitteln.

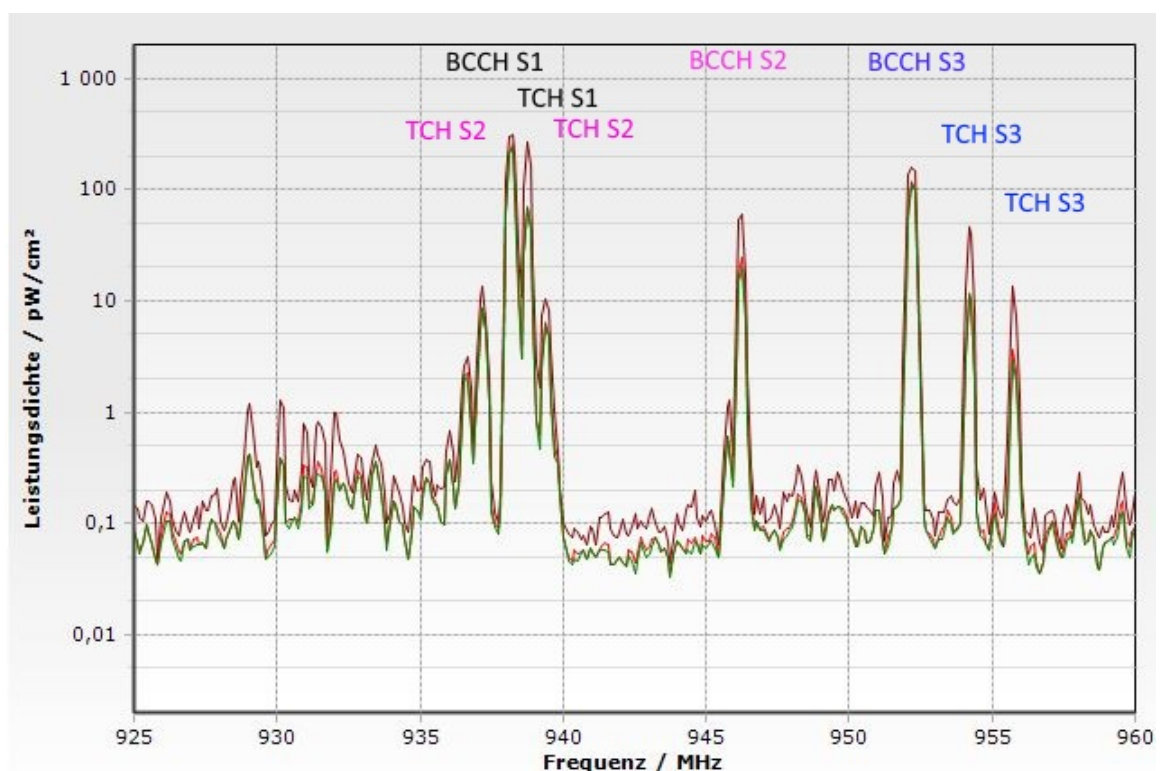


Abbildung 68 GSM- TCH Kanäle und Kanäle mit Steuer Channel (BCCH Kanal)

Die Senderleistung des BCCH Kanals wird nun als Referenzleistung für alle dem BCCH Kanal zugeordneten TCH verwendet. Die Gesamtleistung ergibt sich aus der Multiplikation der BCCH Leistung mit der vom Netzbetreiber übermittelten Anzahl der TCH Träger.

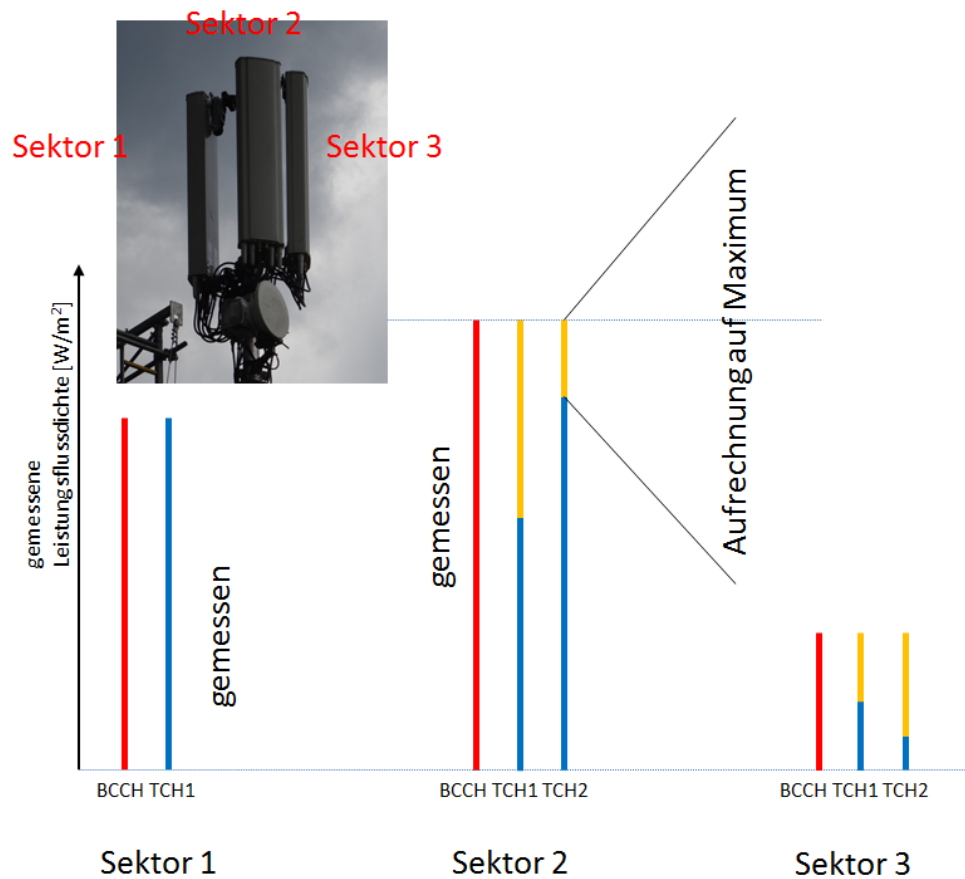


Abbildung 69 GSM Messung mit Hochrechnung

$$S_{\text{Sektor1}} = S_{\text{BCCH1}} * (1 + \text{Anzahl der TCH}) \quad (\text{F7.1})$$

Durch das Frequency Hopping der TCH Kanäle kommt es bei der Messung zu einer Überbewertung des Messsignals durch die Mittelung über die 6 Minuten Messdauer. Wie in der Abbildung 70 ersichtlich würden die TCH Kanäle mehrfach gemessen werden. Bei Hochrechnung, wo nur BCCH Kanäle gemessen werden, tritt diese Überbewertung nicht auf.

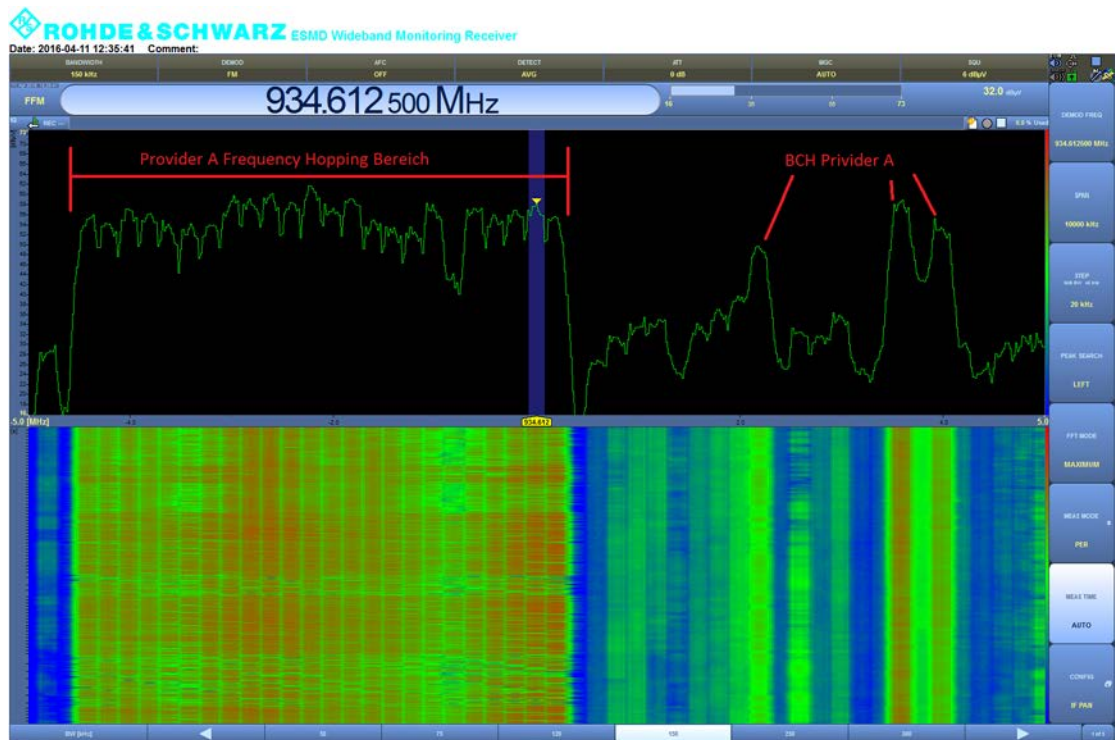


Abbildung 70 Frequenzhopping bei GSM Anzeige „Maxhold“

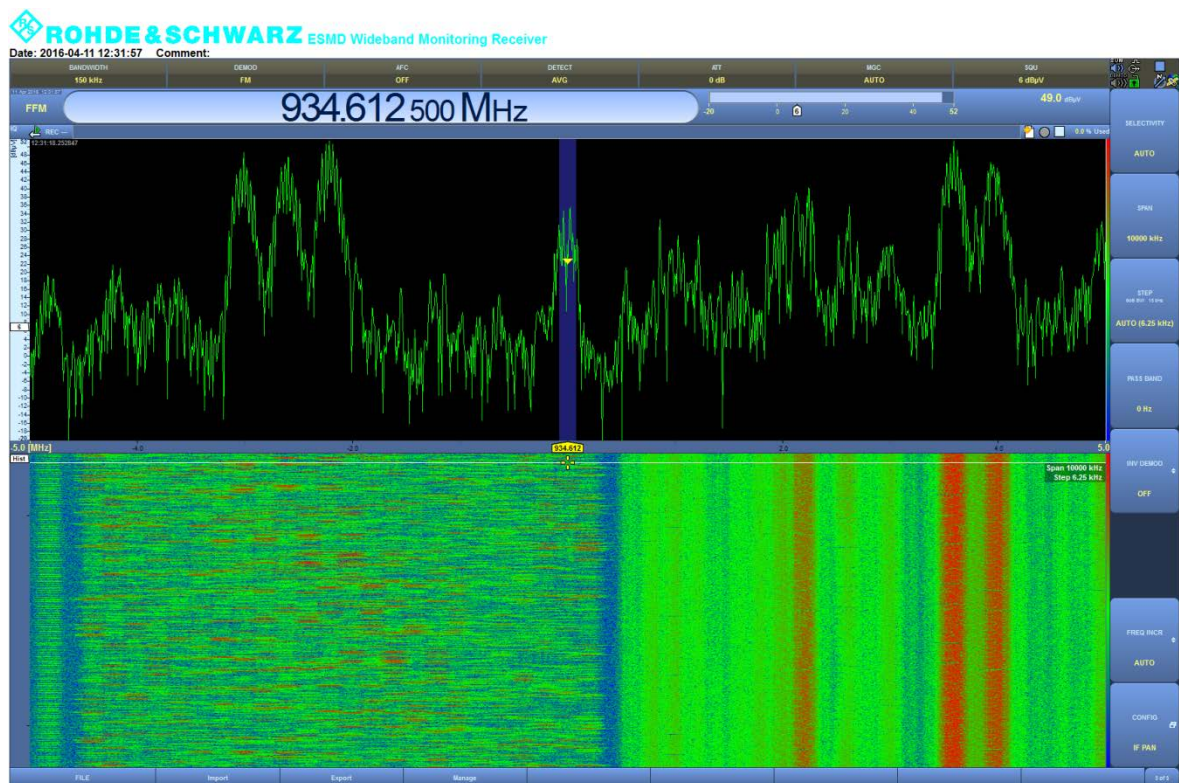


Abbildung 71 Frequenzhopping bei GSM Anzeige „Clear Write“

In der Abbildung 70 wurde die „Sample and Hold“ Anzeige aktiviert, bei dieser sind alle verwendeten TCH abgebildet. Diese werden aber wie im Wasserfall ersichtlich nicht gleichzeitig

verwendet. Bei Betrachtung mittels „Clear Write“ Anzeige, ist erkennbar das nur vier TCH Kanäle verwendet werden.

7.1.3. Tetra

Der Tetra Standard weist einen sehr ähnlichen Systemaufbau wie GSM auf, daher kann auch die gleiche Hochrechnungsmethode wie bei GSM Systemen angewandt werden. Das Äquivalent zum BCCH Kanal wird bei Tetra Masterkanal MCCH (Main Control Channel) genannt. Der MCCH sendet ebenfalls immer mit konstanter, maximaler Senderleistung, da alle vier möglichen Zeitschlitzze, auch wenn keine Nutzung eines Zeitschlitzes vorhanden ist, mit Dummy Informationen belegt werden. Werden mehr Sprach/Daten Kanäle benötigt als Zeitschlitzze in einem Kanal vorhanden sind, muss ein weiterer Kanal auf diesen Standort vorgesehen werden. Die Teilnehmer Kanäle werden TCH(Traffic Channels) genannt. Nach Informationen des Betreibers, ist das österreichische BOS System so konfiguriert, dass im Gegensatz zu GSM TCH Kanälen, auch wenn keine Belegungen vorhanden sind, Dummy-Daten ausgesendet werden. Dies dient dazu, dass die Endstufen immer im linearen Bereich arbeiten und so die maximale Response Zeit zwischen Betätigen der PTT Taste (Push to talk) und Senden mit 300 ms eingehalten werden kann. Da durch die Konfiguration die MCCH und TCCH Kanäle auslastungsunabhängig sind, und immer mit maximaler Feldstärke gerechnet werden können, ist keine weitere Hochrechnung für die Expositionsbewertung notwendig. Eine Konfigurationsänderung des TCH-Verhaltens auf Betrieb wie im GSM, ist aber jederzeit möglich und müsste dann wie bei GSM betrachtet werden.

7.1.4. UMTS

Bei UMTS ist die maximale Sendeleistung ebenfalls von der Auslastung abhängig, daher muss ein Signal gefunden werden, das zur auslastungsunabhängigen Messung herangezogen werden kann. Der CPICH sendet typisch mit 10% der gesamten Kanalleistung des Sektors, durch Hochrechnung kann die gesamte Leistung ermittelt werden. Zur Identifizierung der einzelnen Sektoren werden unterschiedliche Scrambling Codes pro Sektor verwendet

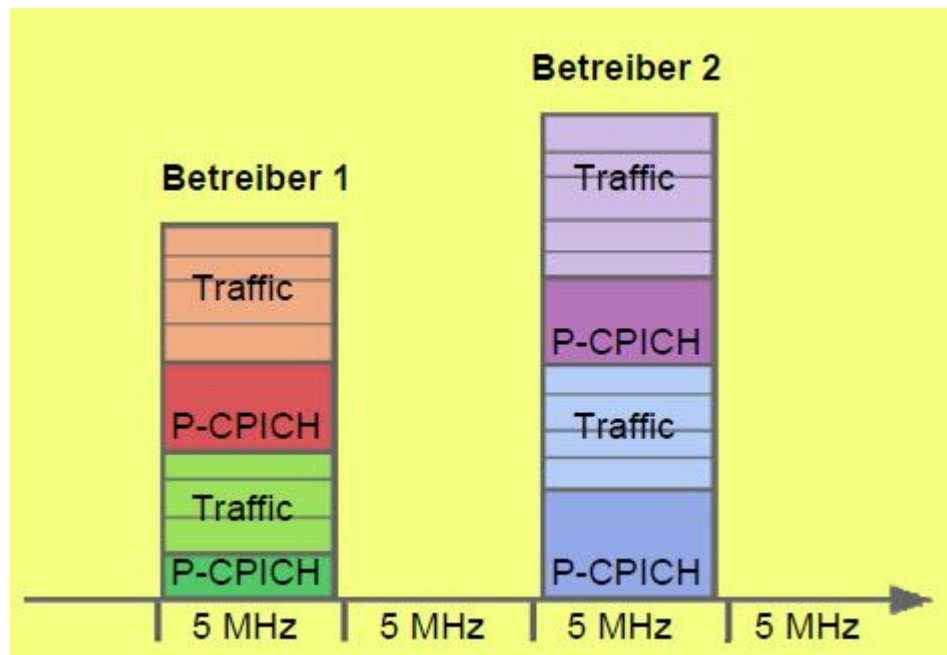


Abbildung 72 Aufbau UMTS Kanal 2 Betreiber mit je 2 Sektoren

Der CPICH hat den fixen Spreizcode 0 und kann mittels codeselektiver Messung aus dem gesamten Signal decodiert werden. Aktuelle Messgeräte können diese Codes einzeln auswerten und definiert messen.

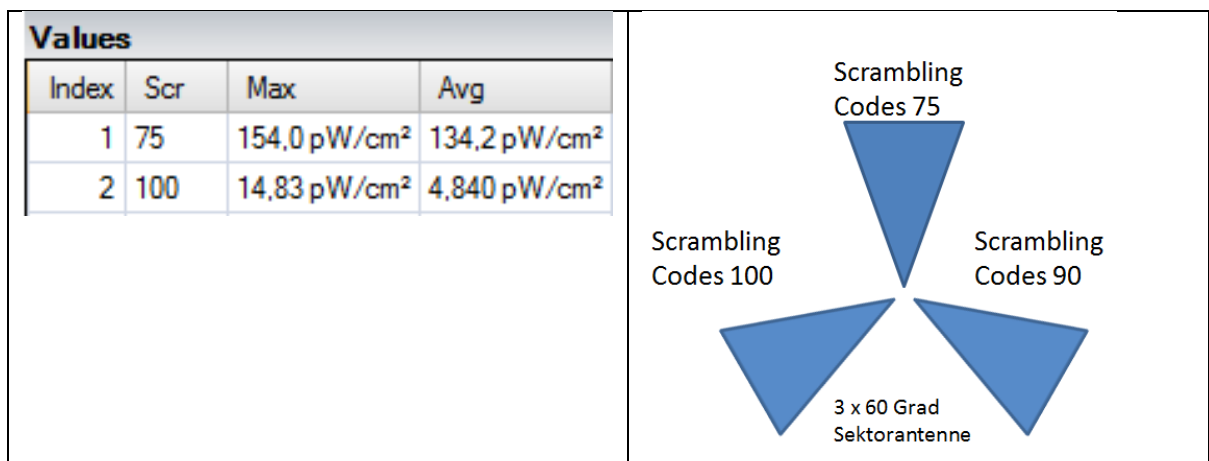


Abbildung 73 UMTS codeselektive Messung einer Basisstation

Bei dieser Messung konnten nur zwei Sektoren der Basisstation gemessen werden. Der dritte Sektor sendete in die gegengesetzte Richtung und war vom Messort nicht empfang und auswertbar.

Die maximale Sendeleistung der Basisstation errechnet sich durch Hochrechnung über die Leistungsflussdichte des CPICH, da dessen Anteil am Gesamtsignal bekannt und konstant ist.

$$S_{\max}[\text{W/m}^2] = S_{\text{CPICH}}[\text{W/m}^2] * 10 \quad (\text{F7.2})$$

Scrambling Code	CPICH Messwert	Anteil am gesamten Signal	Hochgerechnete Gesamtsignal
75	154,0 pW/cm ²	10%	1,54 µW/cm ²
100	14,83 pW/cm ²	10%	148,3 pW/cm ²

Tabelle 10 UMTS Hochrechnung mit den Werten aus Abbildung 73

Diese Berechnung muss für jeden gemessenen CPICH einzeln durchgeführt werden.

7.1.5. LTE

LTE sendet nur jene Ressourcen-Blöcke in denen entweder Nutzdaten oder für den Betrieb notwendige Daten enthalten sind.

Wie in der Abbildung 74 ersichtlich ist der Pegelunterschied des LTE Signals zwischen Teil- und Vollauslastung um etwa 10 dB. Der Unterschied kann aber noch größer sein je nachdem wie stark das LTE Signal bei der Messung ausgelastet ist. Der zeitliche Signalverlauf, aufgrund der unterschiedlichen Auslastung, ist in den Grafiken in Abbildung 81 über 48 Stunden Messdauer ersichtlich. Da LTE keine Informationen aussendet welche Auslastung es gerade aufweist, muss eine auslastungsunabhängige Messinformation des LTE Signals gemessen werden. Diese kann für die Hochrechnung auf maximale Feldstärke verwendet werden. Dafür stehen codeselektive oder frequenzselektive Methoden zur Verfügung. Die Messmethoden werden in den Unterlagen von Narda „AN_HF_1064_D_LTE-Messmethoden_2013-03-26 „ [L19] ausführlich beschrieben.

Teilauslastung der Zelle	Vollauslastung mit 100% belegten Ressourcenblöcken																																																		
<div><div>Spectrum Analysis Graph</div><div><table><tr><td>Integration</td><td>over frequency</td><td>Min</td><td>790,146 881 MHz</td><td rowspan="2">+ 115,75 dBμV/m</td></tr><tr><td>Result Type: Max</td><td></td><td>Max</td><td>811,430 584 MHz</td></tr></table><table><tr><td>Fmin:</td><td>780 MHz</td><td>Fmax:</td><td>821 MHz</td><td>RBW:</td><td>500 kHz</td><td>No. of Runs:</td><td>303</td></tr><tr><td>Meas. Range:</td><td>50,00 mW/m²</td><td>Sweep Time:</td><td>51 ms</td><td>VBW:</td><td>Off</td><td>AVG:</td><td>4 (100%)</td></tr></table></div></div>	Integration	over frequency	Min	790,146 881 MHz	+ 115,75 dBμV/m	Result Type: Max		Max	811,430 584 MHz	Fmin:	780 MHz	Fmax:	821 MHz	RBW:	500 kHz	No. of Runs:	303	Meas. Range:	50,00 mW/m²	Sweep Time:	51 ms	VBW:	Off	AVG:	4 (100%)	<div><div>Spectrum Analysis Graph</div><div><table><tr><td>Integration</td><td>over frequency</td><td>Min</td><td>790,852 783 MHz</td><td rowspan="2">+ 125,88 dBμV/m</td></tr><tr><td>Result Type: Max</td><td></td><td>Max</td><td>810,721 724 MHz</td></tr></table><table><tr><td>Fmin:</td><td>780 MHz</td><td>Fmax:</td><td>811 MHz</td><td>RBW:</td><td>100 kHz</td><td>No. of Runs:</td><td>131</td></tr><tr><td>Meas. Range:</td><td>500,0 mW/m²</td><td>Sweep Time:</td><td>59 ms</td><td>VBW:</td><td>Off</td><td>AVG:</td><td>4 (100%)</td></tr></table></div></div>	Integration	over frequency	Min	790,852 783 MHz	+ 125,88 dBμV/m	Result Type: Max		Max	810,721 724 MHz	Fmin:	780 MHz	Fmax:	811 MHz	RBW:	100 kHz	No. of Runs:	131	Meas. Range:	500,0 mW/m²	Sweep Time:	59 ms	VBW:	Off	AVG:	4 (100%)
Integration	over frequency	Min	790,146 881 MHz	+ 115,75 dBμV/m																																															
Result Type: Max		Max	811,430 584 MHz																																																
Fmin:	780 MHz	Fmax:	821 MHz	RBW:	500 kHz	No. of Runs:	303																																												
Meas. Range:	50,00 mW/m²	Sweep Time:	51 ms	VBW:	Off	AVG:	4 (100%)																																												
Integration	over frequency	Min	790,852 783 MHz	+ 125,88 dBμV/m																																															
Result Type: Max		Max	810,721 724 MHz																																																
Fmin:	780 MHz	Fmax:	811 MHz	RBW:	100 kHz	No. of Runs:	131																																												
Meas. Range:	500,0 mW/m²	Sweep Time:	59 ms	VBW:	Off	AVG:	4 (100%)																																												
<div><div>Spektrumsdarstellung Gesamtpegel</div><div>115,75 dBμV/m</div></div>	<div><div>Spektrumsdarstellung Gesamtpegel</div><div>125,88 dBμV/m (~10 dB Unterschied)</div></div>																																																		
Wasserfalldiagramm nicht alle Subträger werden verwendet (rot die verwendeten)	Bei Vollauslastung sind alle Subträger in Verwendung																																																		

Abbildung 74 Spektrums Darstellung teil und vollbelegtes LTE Signal

Codeselektiv

Für die Berechnung der maximalen Leistung können die Referenzsignale, die für jede Antenne vorhanden sind, ausgewertet werden. Diese Referenzsignale werden mit maximaler Sendeleistung abgestrahlt. Die Messmethode ist in der Applikation Note von Narda AN_HF_1064_D_LTE-Messmethoden [L19] beschrieben.

Bei dieser Messmethode muss das Messgerät die Ressourcenblöcke decodieren und auswerten können. Es wird die Leistung der gewählten Ressourcenblöcke mit zugehöriger Zellen ID angezeigt. Durch Hochrechnen mit dem Extrapolationsfaktor, der abhängig von der Bandbreite ist, lässt sich die maximale Feldstärke errechnen.

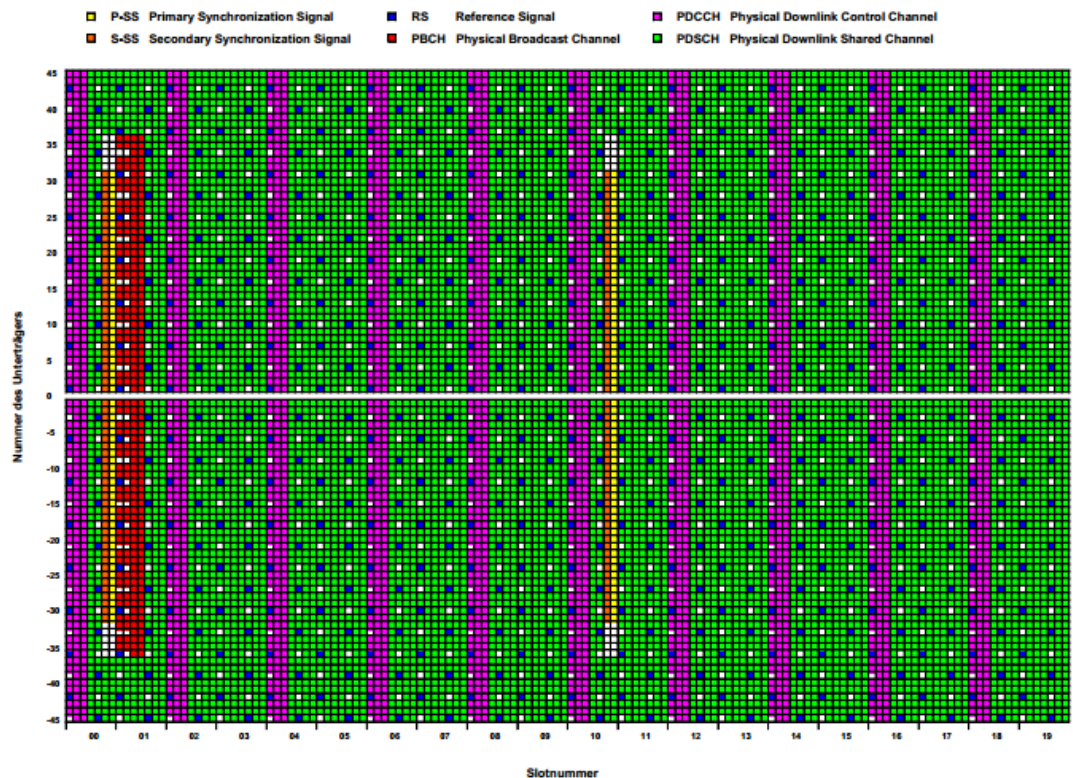


Abbildung 75 Ressourcenblöcke bei LTE

Quelle Note von Narda AN_HF_1064_D_LTE-Messmethoden [L19]

Als auslastungsunabhängige Bezugssignale stehen die Signale P-SS (Primary Synchronisation Signal), S-SS (Secondary Synchronisation Signal) oder aber auch die RS (Referenzsignale) zur Verfügung. Für die Messreihe wurden die Referenz Symbole RS, welche über den gesamten Frequenzbereich verteilt sind, verwendet. Diese werden permanent über den gesamten Frequenzbereich und von allen Antennen abgestrahlt. RS_0 wird von Antenne 1 gesendet, bei 4 Antennen MIMO würde es bis RS_3 gehen. RS_AVG von RS_Sum ist die Mittelwert Bildung der Summenleistung aller Referenzsignale (RS_0 bis RS_3).

Bandbreite	Ressource Blocks	Anzahl der Träger entspricht dem Extrapolationsfaktor
1.4 MHz	6	72
3 MHz	15	180
5 MHz	25	300
10 MHz	50	600
15 MHz	75	900
20 MHz	100	1200

LTE Bandbreite Trägeranzahl

$$S_{\max}[\text{W/m}^2] = S_{\text{RS_AVG}}[\text{W/m}^2] \cdot \text{Extrapolationsfaktor} \quad (\text{F7.3})$$

Cell ID	Max (RS-Avg) [nW/m²]	Avg (RS-Avg) [nW/m²]	Booster	Bandbreite [MHz]	Extrapolationsfaktor	maximale Immision [µW/m²]	avg Immision [µW/m²]
22	145,4	116,2	nein	20	1200	174,48	139,44
23	34,27	25,52	nein	20	1200	41,12	30,63
21	10,40	5,196	nein	20	1200	12,48	6,235

Tabelle 11 LTE Hochrechnung durch codeselektive Messung

Zusätzlich ist es möglich dass der Betreiber den Signalisierungsblock mit 3dB höherer Leistung sendet (das sogenannte Boosting), dies ist dann beim Extrapolationsfaktor der Hochrechnung mit zu berücksichtigen.

1. Frequenzselektiv

Bei dieser Messmethode kann ebenfalls auf die maximale Feldstärke hochgerechnet werden. Eine Unterscheidung der einzelnen Basisstationen, die auf der gleichen Frequenz senden, ist nicht möglich. Es ist daher die codeselektive Messmethode vorzuziehen.

7.1.6. Übersichtsblatt Hochrechnung

	UKW Radio	DAB+	DVB-T/T2	Tetra	GSM	UMTS	LTE
Modulationsverfahren	FM	OFDM	OFDM	FDD-TDMA	FDD-TDMA	CDMA	OFDMA
Unterscheidung der Basisstationen	Frequenz	keine	keine	Frequenz	Frequenz	Code	Code
Signalisierung	keine	keine	keine	MCCH, zeitlich konstant	BCCH, zeitlich konstant	CPICH, konstante Amplitude	Symbole, auf festgelegten Zeitschlitzen in der Bandmitte oder verteilt über das Frequenzband
Signalisierungsleistung	keine	keine	keine	MCCH immer volle Leistung	BCCH immer volle Leistung	Variabel, typ. 10 % der maximalen Leistung	Variabel gegenüber der max. Leistung (typ. $\leq \pm 3$ dB)
Einfluss der Nutzdaten	keine	keine	keine	Verkehrskanäle auf unterschiedlichen Frequenzkanälen	Verkehrskanäle auf unterschiedlichen Frequenzkanälen	Beaufschlagung des Signals mit zusätzlicher Leistung	Leistung auf zusätzlichen Unterträgern und / oder Zeitschlitzen
Messmethode	Leistungspegel des UKW Radio-Kanals	Leistungspegel des DAB-Kanals	Leistungspegel des DVB-T Kanals	Leistungspegel des MCCH und TCH	Leistungspegel des BCCH, keine Decodierung	Codeselektive Messung des CPICH	Codeselektive Messung der Ref-Symbole
Hochrechnung auf max. Leistung	Nicht notwendig	Nicht notwendig	Nicht notwendig	derzeit nicht notwendig TCH senden mit maximaler Leistung	Max. Anzahl an TCHs	Max Leistung / CPICH-Leistung	Pegel der Ref-Symbole hochgerechnet auf volle Bandbreite
MIMO	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja möglich

7.2. Funkkanal

Bei der Übertragung von Signalen über einen Übertragungsweg werden die elektromagnetischen Funkwellen durch Beugung, Reflexion und Streuung an Objekten am Übertragungsweg verändert. Mathematische Modelle, die diese Effekte beschreiben, wurden entwickelt um die Auswirkungen zu berechnen und damit die Qualität und Quantität der Übertragung zu erhöhen. Abhandlungen zu den mathematischen Beschreibungen sind in der Literatur (z.B. Digitale Signalübertragung im Mobilfunk [L25]) bestens dokumentiert. Die Auswirkungen dieser Effekte werden kurz beschrieben.

Erfolgt die Übertragung auf direkten Weg von Sender zu Empfänger wird dies LOS "Line of sight" - Sichtverbindungsübertragung genannt.

Neben der LOS Direktverbindung gibt es auch andere Ausbreitungswege die das Sendesignal bei der Übertragung nutzen kann. Diese Ausbreitungen werden auch Mehrwegeausbreitung, Multipath oder auch NLOS „non-line-of sight“ genannt. Die weiteren Verbindungspfade entstehen unter anderem durch Reflexion und Streuung des Signals.

Auch eine Kombination von LOS und NLOS Verbindungen ist möglich. Da die zusätzlichen Wege länger sind als der direkte, kommt das Signal mehrfach, zeitlich unterschiedlich und phasenmäßig verändert, am Empfänger an.

Am Empfangsort summieren sich die einzelnen Signale zu einem Gesamtsignal. Das kann zu Schwankungen der Empfangsfeldstärke führen, welches als Fading bezeichnet wird.

Kommt es bei der Summierung der einzelnen Signale zu einer Erhöhung des Gesamtsignals, so ergibt das eine konstruktive Interferenz. Durch die Phasenverschiebung der einzelnen Signale, kann es bis zur gänzlichen Auslöschung des Summensignals kommen, man spricht von destruktiver Interferenz. Beobachtet werden kann diese destruktive Interferenz bei UKW Radioempfang im Auto.

Die nachfolgenden Messungen zeigen die durch Fading verursachten Pegelunterschiede eines zeitlichen konstanten Signals auf. Als Messsignal wurde das Signal eines DAB+ Sender verwendet der zeitlich mit gleichbleibender Leistung sendet.

Zur besseren Verdeutlichung wurden die Zellen in Abhängigkeit der Abweichung zum Median mittels Farbskala eingefärbt.

GRÜN niedrigere Werte im Bezug zum Median der Messwerte

ROT höhere Werte im Bezug zum Median der Messwerte

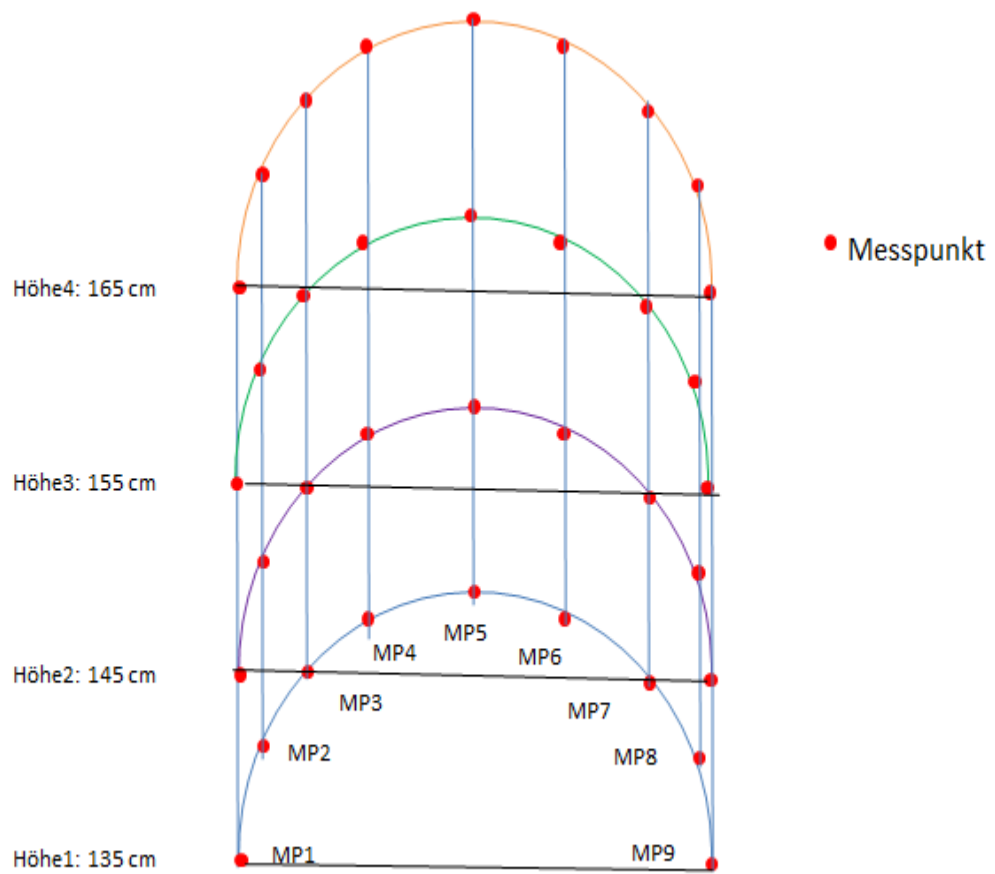


Abbildung 76 Messpunkte für die Fadingmessung

DAB+ Signal Indoor Messung

Messhöhe [cm]	Feldstärke [µV/m]								
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
165	94,49	97,48	98,08	98,89	99,27	99,65	99,49	100,29	100,05
155	94,94	96,26	97,65	98,36	98,69	99,19	99,72	100,09	100,13
145	95,05	95,57	96,34	96,28	97,22	97,94	98,64	99,35	99,7
135	95,41	93,67	94,19	95,89	96,98	99,1	99,21	100,37	100,42

Messhöhe [cm]	Feldstärke Abweichung zum Median [µV/m]								
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
165	-4,01	-1,02	-0,42	0,39	0,77	1,15	0,99	1,79	1,55
155	-3,56	-2,24	-0,85	-0,14	0,19	0,69	1,22	1,59	1,63
145	-3,45	-2,93	-2,16	-2,22	-1,28	-0,56	0,14	0,85	1,2
135	-3,09	-4,83	-4,31	-2,61	-1,52	0,6	0,71	1,87	1,92

Messhöhe [cm]	Abweichung zum Median [%]								
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
165	95,93	98,96	99,57	100,40	100,78	101,17	101,01	101,82	101,57
155	96,39	97,73	99,14	99,86	100,19	100,70	101,24	101,61	101,65
145	96,50	97,03	97,81	97,75	98,70	99,43	100,14	100,86	101,22
135	96,86	95,10	95,62	97,35	98,46	100,61	100,72	101,90	101,95

DAB+ Signal Outdoor Messung

Messhöhe [cm]	Feldstärke [µV/m]								
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
165	135,87	94,92	44,32	65,44	103,87	143,87	119,01	123,69	140,36
155	117,14	83,02	33,85	83,74	109,39	97,16	105,15	101,30	91,88
145	149,12	85,63	36,43	51,26	80,85	91,88	87,65	85,08	84,48
135	108,35	65,47	63,81	77,59	100,39	130,34	109,48	103,33	85,92

Messhöhe [cm]	Feldstärke Abweichung zum Median [µV/m]								
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
165	42,47	1,52	-49,08	-27,96	10,47	50,47	25,61	30,29	46,97
155	23,75	-10,38	-59,55	-9,66	15,99	3,76	11,76	7,90	-1,52
145	55,72	-7,77	-56,97	-42,14	-12,55	-1,52	-5,74	-8,32	-8,92
135	14,95	-27,93	-29,59	-15,81	6,99	36,94	16,08	9,93	-7,48

Messhöhe [cm]	Abweichung zum Median [%]								
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	MP 9
165	145,48	101,63	47,45	70,07	111,22	154,03	127,42	132,43	150,28
155	125,42	88,88	36,25	89,66	117,12	104,03	112,59	108,46	98,37
145	159,65	91,68	39,00	54,88	86,57	98,37	93,85	91,09	90,45
135	116,01	70,10	68,32	83,08	107,48	139,55	117,21	110,63	91,99

Bei den Outdoor Messungen war eine direkte Sichtverbindung zum DAB+ Sender vorhanden. Die Abweichungen sind jedoch um ein vielfaches höher als bei den Indoor Messungen. Aufgrund dieser Fading Effekte ist nach der EN8850 die Expositionsmessung als Mehrpunkt Messung mit Mittelung vorgesehen.

7.3. Schwankungen der Signale

Die Messung soll die Feldstärkeschwankungen über einen Zeitraum von 48 Stunden dokumentieren. Es wurde an einem fixen Messort ein Kanal des jeweiligen Dienstes gemessen. Die so gewonnen Messdaten wurden zur besseren Übersicht grafisch aufbereitet

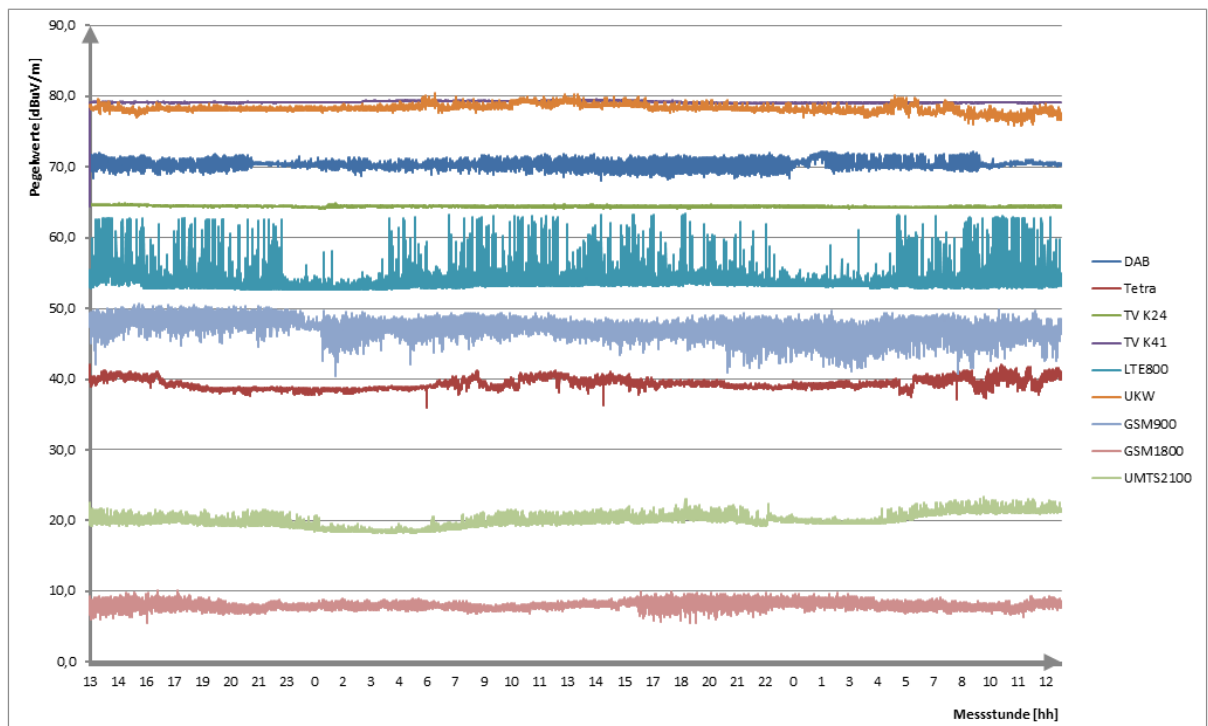


Abbildung 77 Pegelverlauf der wichtigsten Funkdienste im zeitlichen Verlauf

Um eine genauere Darstellung des zeitlichen Verlaufes zu erhalten, wurden die Abweichungen zu den jeweiligen 50 % Perzentil für die einzelnen Dienste errechnet und grafisch dargestellt.

- Funkdienste bei denen die Sendeleistung zeitlich nicht verändert wird

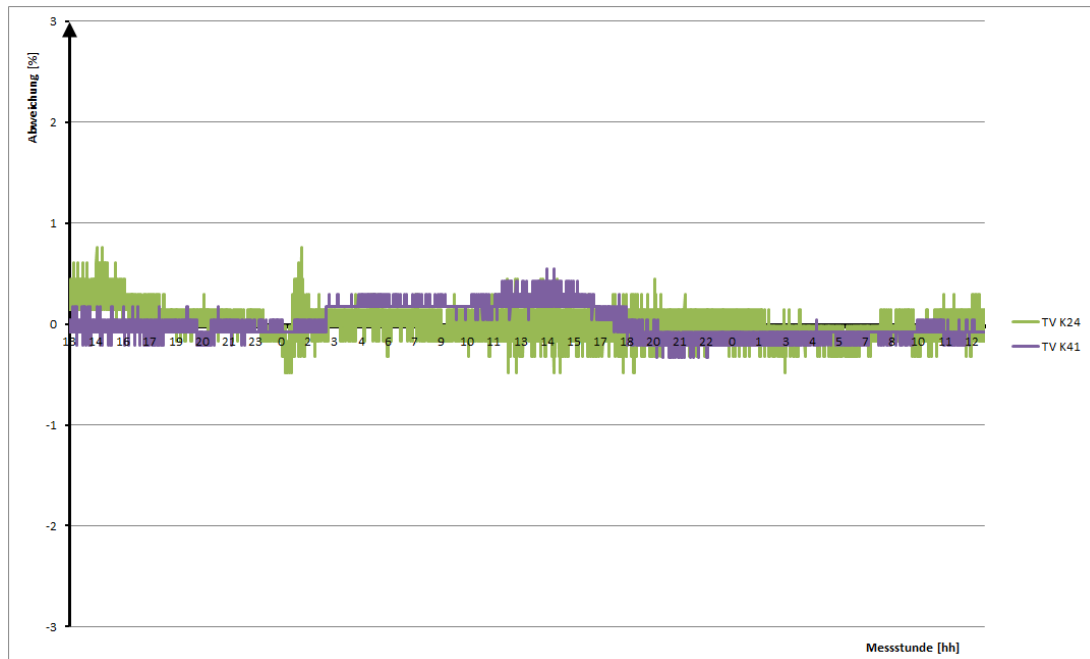


Abbildung 78 Abweichung in % bei DVB T und DVB T2 Sender

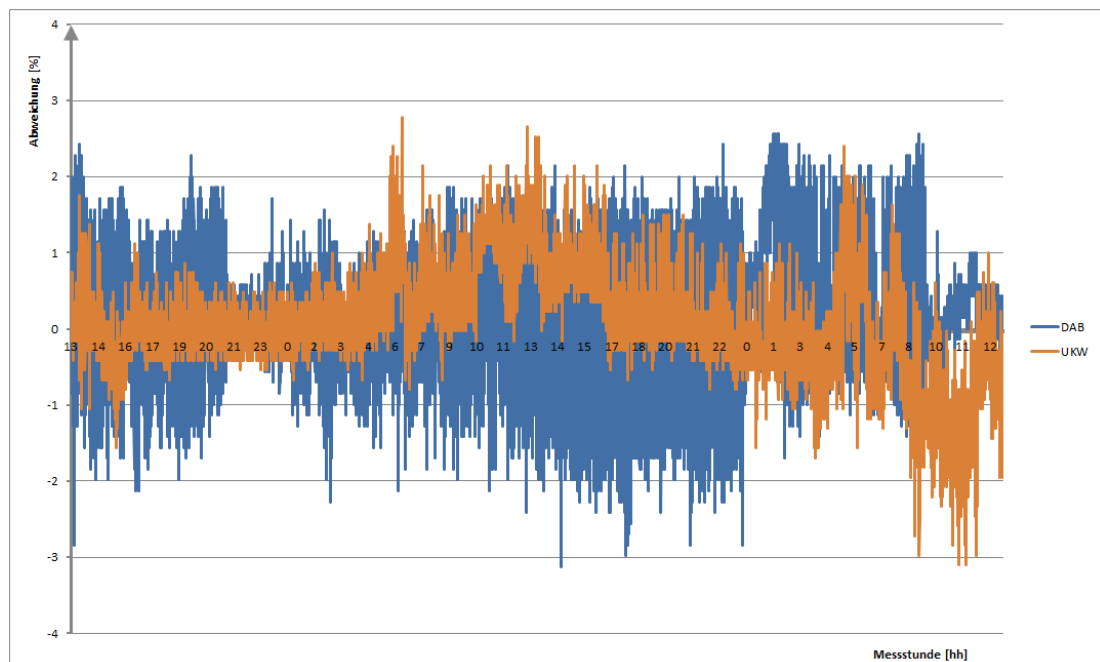
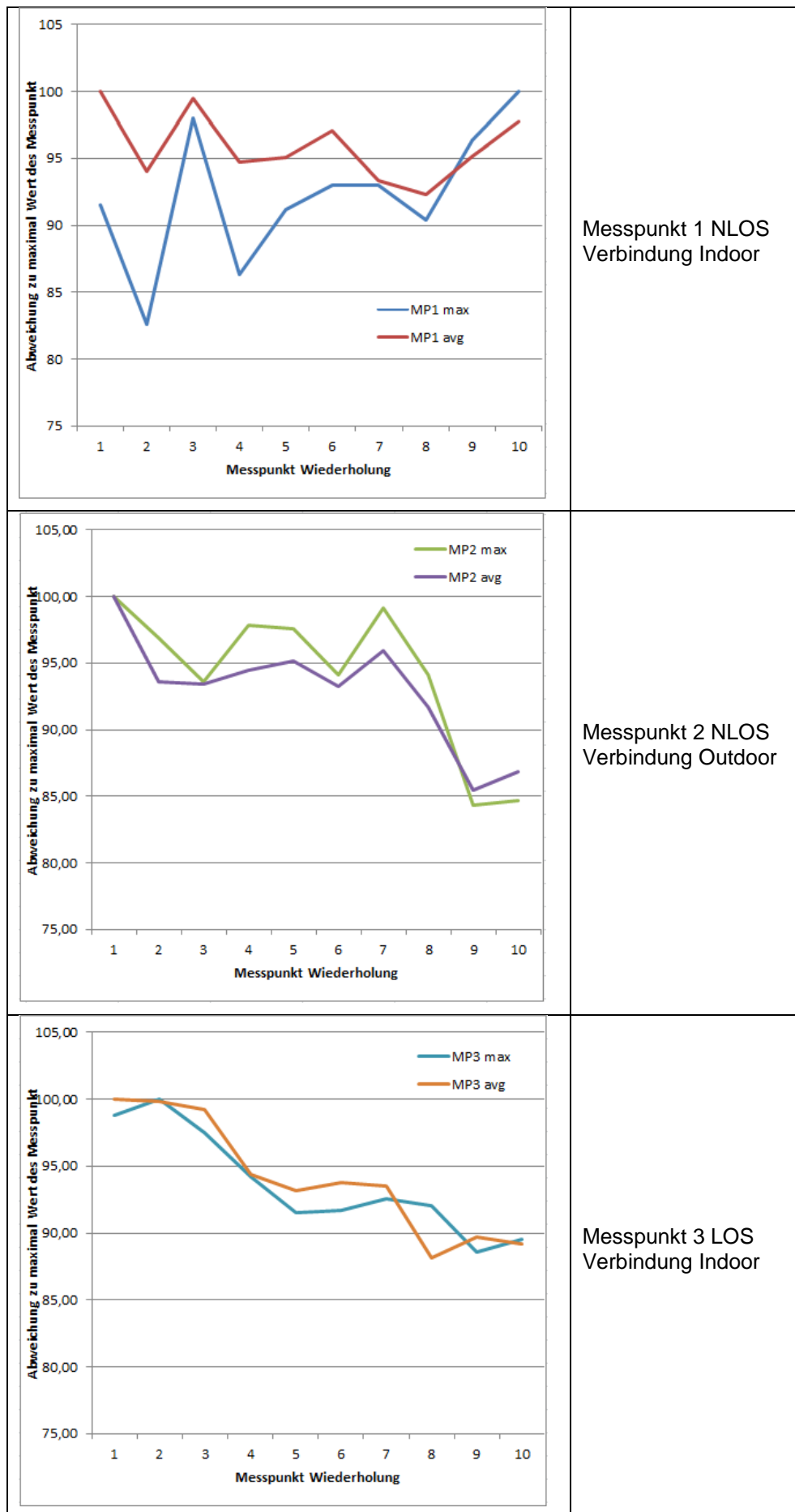


Abbildung 79 Abweichung in % bei DAB+ und analog Radiosender

Die Abweichungen für analog Radio, DAB+, DVB T und DVB T2 betragen maximal 3 %, diese unterschiedlichen Messwerte können durch Fading entstehen. Der Fading Effekt ist in Kapitel 7.2 Funkkanal beschrieben. Eine nähere Betrachtung des zeitlichen Fadings an einen Messpunkt soll die nachfolgende Messreihe der Empfangs-Leistungsflussdichte S eines DAB+ Senders aufzeigen.

Für diese Messreihe wurden an einer Messposition zehn aneinander folgende Messungen des Signalpegels durchgeführt. Die Messdauer war bei allen Messungen mit sechs Minuten gleichlang. Gemessen wurde der Maximalwert und der Mittelwert des DAB+ Signals als Effektivwert.

Die Messpunkte wurden so gewählt um Aussendungen mit direktem sichtbaren LOS und indirekten N-LOSÜbertragungsweg zu messen.



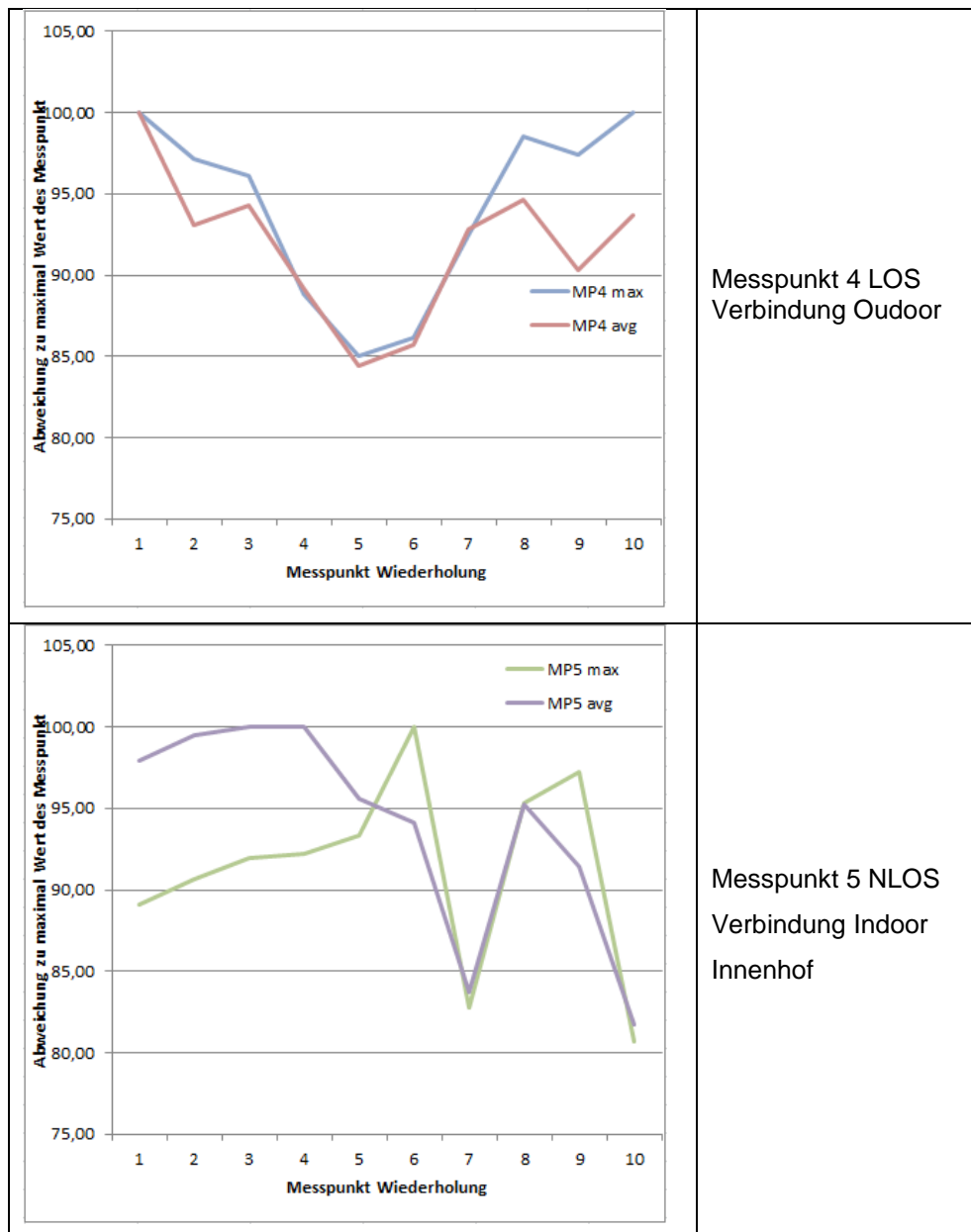
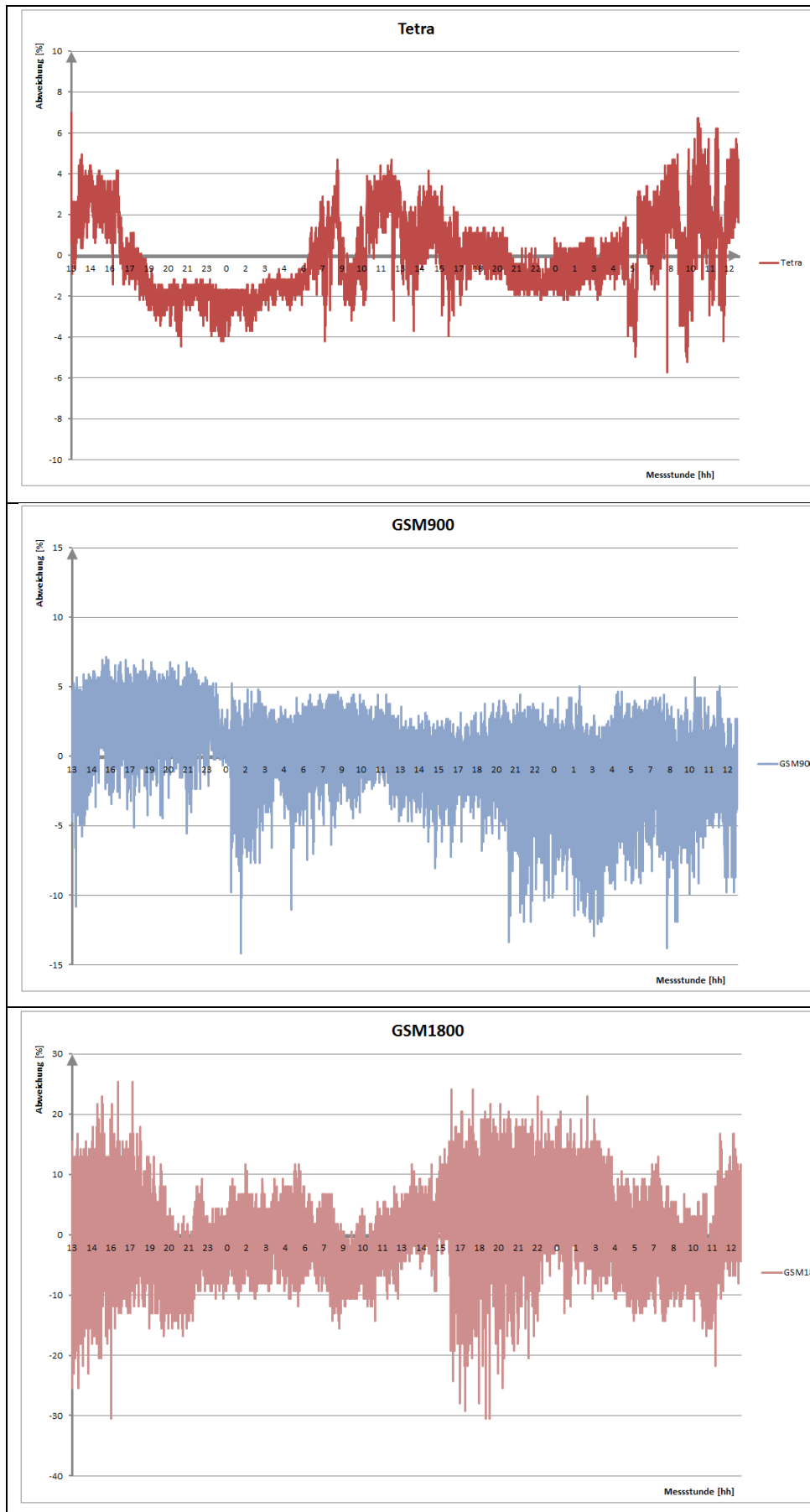


Abbildung 80 Abweichungen des DAB+ Signals bei 6 Minuten Messungen

Die Messreihe zeigt, dass es unabhängig von der Art der Verbindung, zu Pegelschwankungen durch Fading Effekte bis 20 Prozent kommen kann. Diese Messunsicherheit ist im Messergebnis nicht korrigierbar.

- Funkdienste mit auslastungsabhängiger Feldstärke



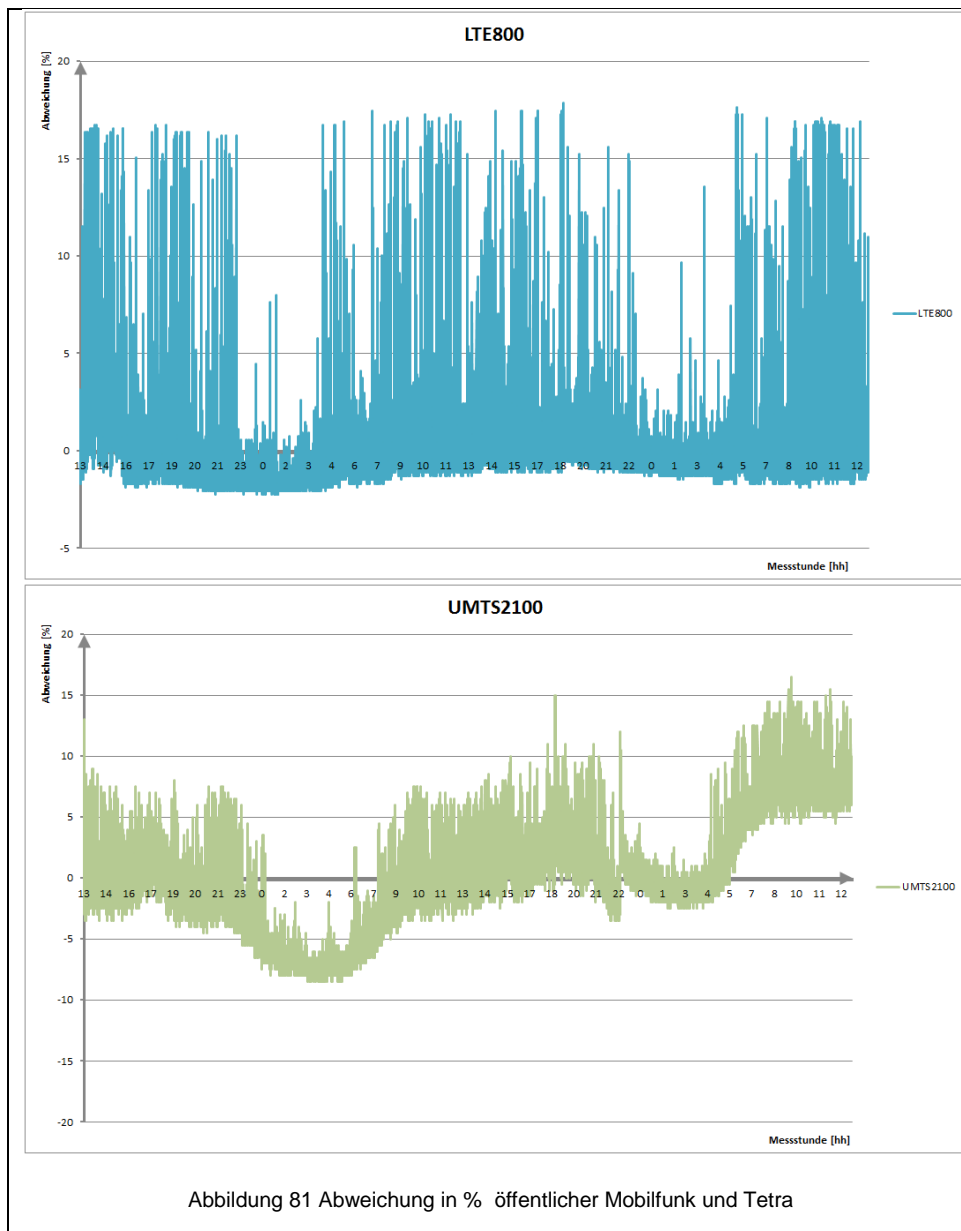


Abbildung 81 Abweichung in % öffentlicher Mobilfunk und Tetra

Obwohl laut Informationen des Tetra BOS Betreiber, keine lastabhängige Aussendung erfolgt, sieht man die Erhöhung untertags und die Absenkung in der Nacht. Die Ursache konnte nicht geklärt werden. Für die Messreihe der Expositionsmessung wird von einer lastunabhängigen Aussendung ausgegangen.

Bei allen anderen Mobilfunk Standards wird die geeignete Hochrechnung angewandt. Der Vergleich der Messdaten soll zeigen, ob die Tageszeit abhängigen Abweichungen, die wie im Falle von GSM 1800 bis zu $\pm 30\%$ betragen können, nur durch Hochrechnung auf Volllast und Mehrpunktmessung korrekt abgebildet werden.

7.4. Kanalleistung bzw. Channel Power

Zur Messung der gesamten Leistung eines Signals, ist die Fläche unter dem Signalverlauf (siehe Abbildung 82) zu betrachten. Bei Spektrumanalysatoren musste ein geeignetes Bandfilter gewählt werden, um das gesamte Frequenzspektrum des zu messenden Signals zum Detektor durchzulassen. Wird das Filter zu schmal gewählt, musste wie in Abbildung 83 ersichtlich, auf die gesamte Leistung hochgerechnet werden. Bei Signalen mit gleichbleibendem Pegel über den gesamten Signalverlauf war dieser Ansatz gut geeignet. Ändert sich der Pegel über den Frequenzverlauf oder weisen die Signale einen hohen Crest Faktor auf, ist diese Hochrechnungsmethode nicht anwendbar. Solche Signale können mittels Channel Power Messung, welche bei aktuellen Messgeräten vorhanden ist gemessen werden. Bei dieser Art der Messung wird eine mathematische Integration des Messwertes von der vorgegebenen Start- bis zur Endfrequenz durchgeführt.

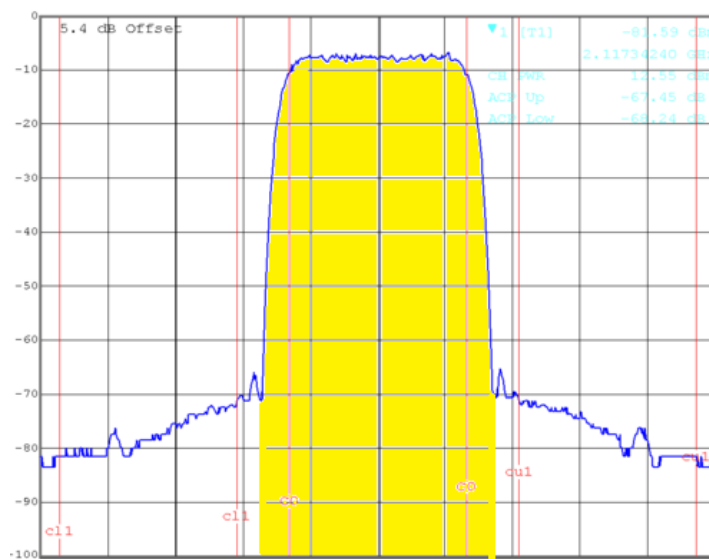


Abbildung 82 Leistungsmessung bei breiten Signalen

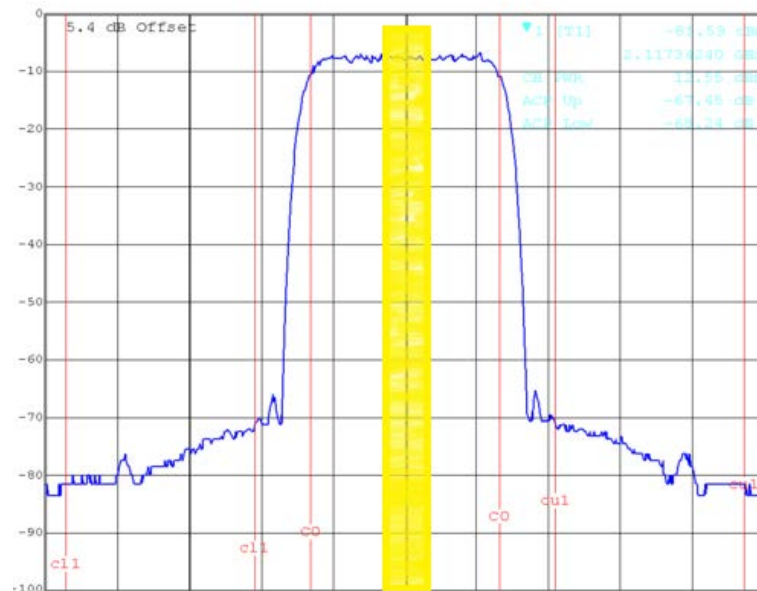


Abbildung 83 Leistungspegelmessung von Signalen größer als die Messbandbreite

Berechnung des Leistungspegels der gesamten Bandbreite:

$$L_{gesamt} = L_{BW} + 10 \cdot \log\left(\frac{BS}{BW}\right)$$

L_{gesamt} ... Leistung gesamte Bandbreite
 L_{BW} ... Leistung der gewählten Bandbreite
 BS ... gesamte Bandbreite
 BW ... eingestellte Bandbreite

(F7.4)

7.5. Crestfaktor

Der Crestfaktor ist das Verhältnis zwischen maximaler Amplitude und dem Effektivwert des Signales. Bei Signalen, welche stark rauschähnliche Eigenschaften aufweisen wie z.B. das OFDM Signal, ist ein großer Unterschied zwischen den Maximalwerten U_{max} und den Effektivwert des Signals U_{eff} möglich. Der Crestfaktor kann bei solchen Signalformen groß werden, ist aber in der Praxis rund um 10dB.

Crestfaktor C

$$C = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{max}}{U_{eff}}\right)$$

U_{max} ... Maximaler Spannungspegel
 U_{eff} ... Effektiver Spannungspegel (True RMS)

(F7.5)

Bei der Expositionsmessung muss der Effektivwert des Signals und nicht die Spitzenleistung gemessen werden. Durch Messung der Spitzenpegel bei hohen Crestfaktor erfolgt eine deutliche Überbewertung der Exposition.

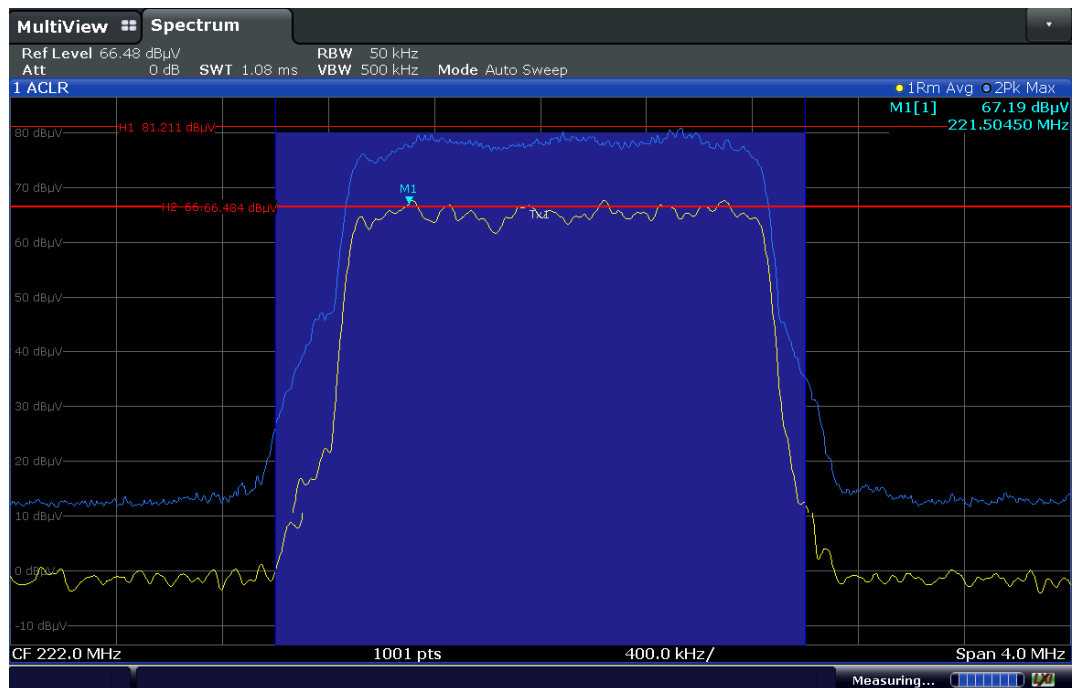


Abbildung 84 Crestfaktor bei OFDM Signalen

Blau. .positiv Max Detektor

Gelb...RMS Detektor

7.6. Messunsicherheit

Die Messunsicherheit wird beschrieben in „Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement“ [L5]. In Deutsch unter den Titel „Leitfaden für die Angabe der Unsicherheit beim Messen“ erhältlich als europäische Vor-Norm ENV 13005 [L15].

Bei der Messunsicherheit wird unterscheiden zwischen Messgeräteunsicherheit, umgangssprachlich Messgerätetoleranz genannt, und der Unsicherheit durch den Vorgang der Messung. Die Messgeräteunsicherheit wird für die gesamte Messeinrichtung (Antenne, Kabel, Messgerät) vom Hersteller ermittelt und dokumentiert. Typische Werte sind um $\pm 20\%$ des gemessenen Messwertes.

Eine weitere Unsicherheit entsteht bei der Messung durch unterschiedliches Vorgehen der Messtechniker, diese Unsicherheit kann durch Wissen und Erfahrung weiter reduziert werden.

„Nach Ansicht des METAS (Schweizer Eidgenössisches Institut für Metrologie) besteht derzeit (2014) keine Möglichkeit, mit modernen Messeinrichtungen und Techniken die gesamte erweiterte Messunsicherheit U von $\pm 45\%$ bei der experimentellen Bestimmung des örtlichen Höchstwertes der elektrischen Feldstärke in Innenräumen zu verkleinern.“ Zitat [L10]

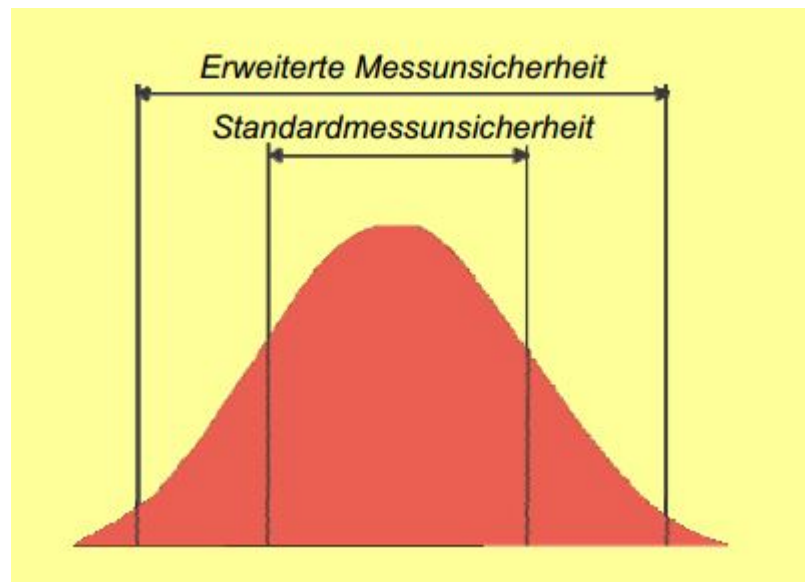


Abbildung 85 Wahrscheinlichkeit der Standard 65% und der Erweiterten 95% Unsicherheit

Frequenzbereich	Einachsige Messung mit dreiaxiger Antenne	Isotrope Messung
27 – 85 MHz	2,4 / -3,3 dB	3,2 / -4,7 dB
> 85 – 900 MHz	2,4 / -3,4 dB	2,5 / -3,6 dB
> 900 – 1400 MHz	2,3 / -3,1 dB	2,5 / -3,4 dB
> 1400 – 1600 MHz	2,3 / -3,1 dB	2,6 / -3,8 dB
> 1600 – 1800 MHz	1,8 / -2,3 dB	2,2 / -3,0 dB
> 1800 – 2200 MHz	1,8 / -2,3 dB	2,4 / -3,3 dB
> 2200 – 2700 MHz	1,9 / -2,4 dB	2,7 / -3,8 dB
> 2700 – 3000 MHz	1,9 / -2,4 dB	3,3 / -5,3 dB

Tabelle 13 erweiterte Messunsicherheit SRM-3006-Grundgerät

Quelle Bedienungsanleitung SRM3006 [L17]

Angaben für die erweiterte Messunsicherheit gelten für den Temperaturbereich +15 °C bis +30 °C.

Eine weitere Überbewertung des Messergebnisses kommt durch die Messung von Signalen, die nahe am Grundrauschen sind. Da es sich hierbei um einen systematischen Messfehler handelt, kann dieser korrigiert werden. Grundlagen sind im Workshop „Mess- und Konformitätsunsicherheit in der EMV“ [L36] ersichtlich. Auszug aus dem Workshop von Prof. Dr.-Ing. Wuschek „Das Grundrauschen wird zum eigentlichen Signalwert addiert, liegt dieser sehr nahe beim Rauschwert kommt es zu einer starken Überbewertung des Signals. Je nach Detektortyp muss das Messsignal unterschiedlich korrigiert werden, siehe Abbildung. Die Konsequenz ist immer Signale mit einer möglichst geringen Eingangsabschwächung zu messen. Durch Außerband Signale kann es

vorkommen, dass das Messgerät trotz richtig eingestellter Dämpfung für dieses Signal durch das Außerbandsignal übersteuert wird. Dann muss die Eingangsdämpfung erhöht werden.“

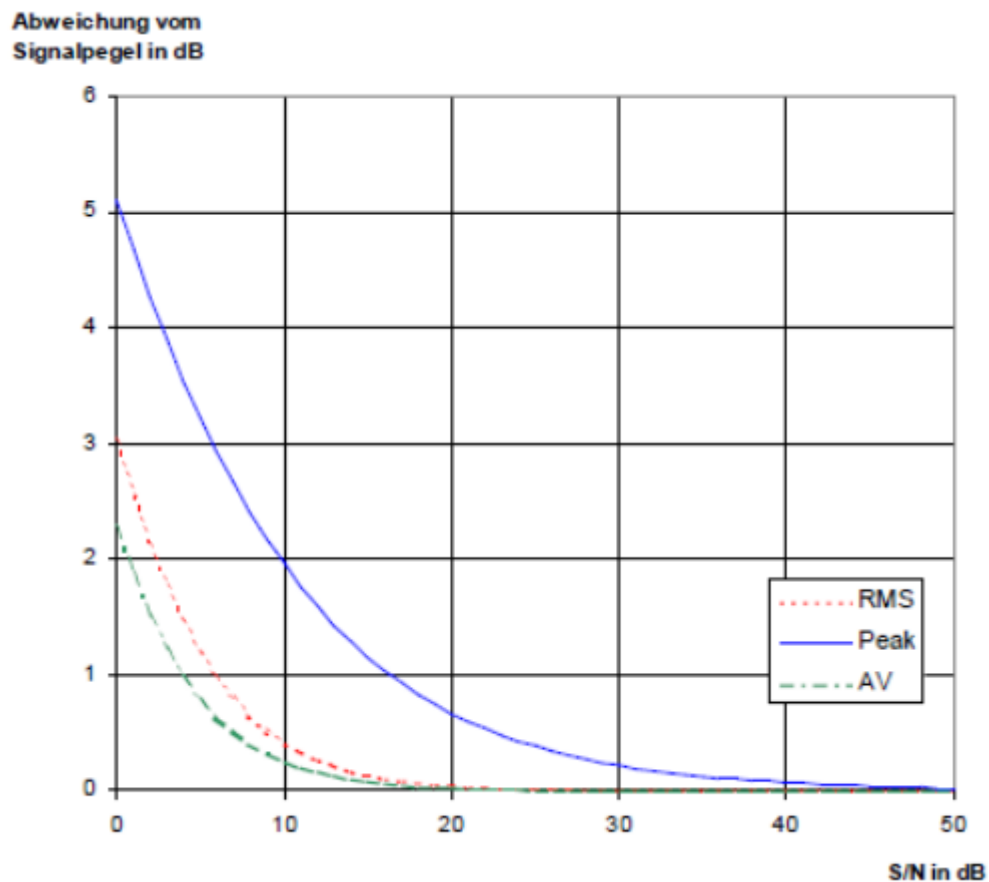


Abbildung 86 Messkorrektur in Abhängigkeit des S/N

Quelle Workshop EMV [L36]

In Abbildung 86 ist der Korrekturwert in Abhängigkeit des Verhältnisses von Nutzsignal zu Rauschsignal (S/N) dargestellt. Der Korrekturwert wurde für verschiedene Detektoren ermittelt. Demzufolge muss ein mit RMS Detektor gemessenes Signal mit 5 dB Rausch- Nutzabstand um 1,3 dB, das gleiche Signal aber mit Peak Detektor mit 3,6 dB korrigiert werden.

Bei allen in diesem Dokument erstellten Messungen bleibt die Messunsicherheit bei den Messwerten unberücksichtigt.

7.7. Messmethoden

Bei der Messung des elektromagnetischen Feldes, kann diese auf zwei Arten erfolgen.

7.7.1. Spot oder Augenblicksmessung

Bei dieser Messmethode wird das elektromagnetische Feld zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessen und dokumentiert.

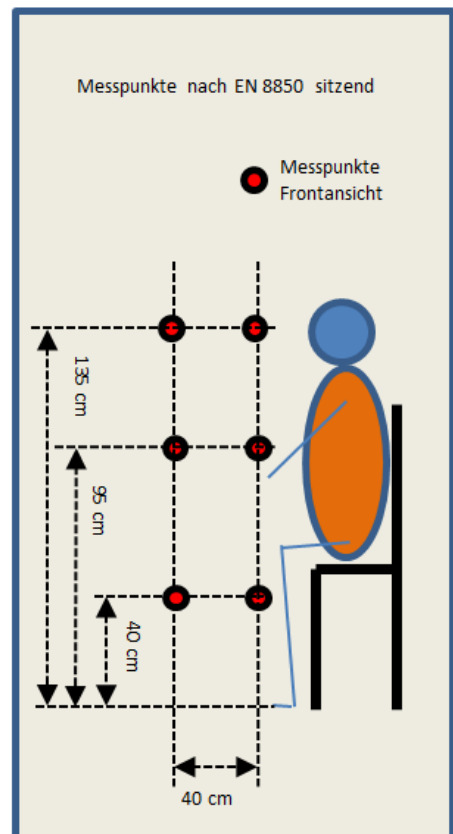
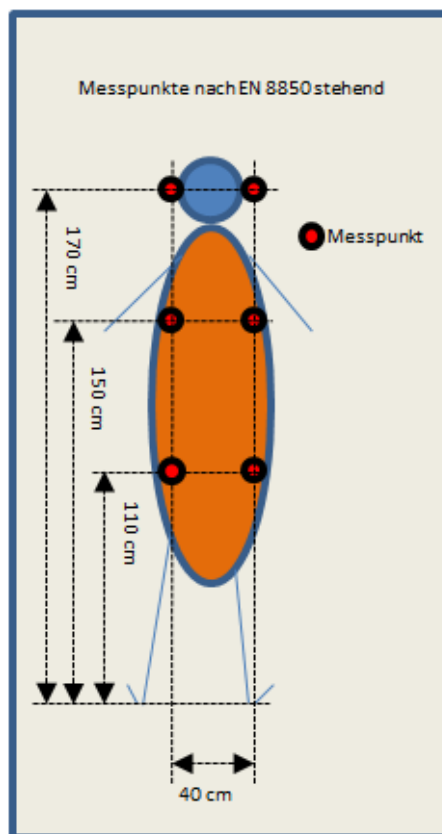
Der Zeitpunkt der Messung wird in der Praxis durch die zeitliche Vorgabe mit den Kunden abgestimmt. Die Messung kann durchgeführt werden als:

- Einpunkt Messung

Die Messung wird nur an einem repräsentativen Punkt pro Messpunkt durchgeführt. Die Festlegung der Höhe des Messpunktes wird an die Aufenthaltssituation der Bewohner dieses Raumes Höhe angepasst. So wird z.B. im Wohnzimmer eine Sitzhöhe von 1,2 m, Schlafzimmer im Bett in Höhe des Kopfteles angenommen.

- Punktraster Messmessung

Wie die Einpunkt Messmethode, nur werden hier je nach gewählter Messvorschrift mehrere Messpunkte gemessen und danach gemittelt. Für die Messreihe wurde die EN8850, welche derzeit in Österreich den Stand der Technik , angewandt.



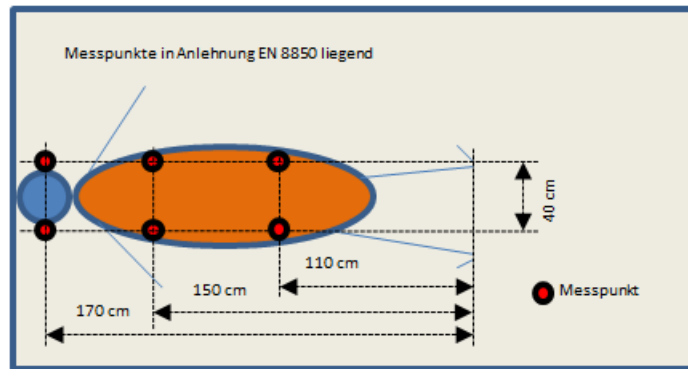


Abbildung 87 Messpunkte nach EN8850

Die Mittelwertbildung wird nach EN8850 über die gemessene Leistungsflussdichte durchgeführt.

$$S = \frac{l}{n} * \sum_{i=1}^n S_i \quad (\text{F7.6})$$

Alternativ lässt sich der Mittelwert auch über die Feldstärke berechnen

$$E = \sqrt{\frac{l}{n} * \sum_{i=1}^n E_i^2} \quad (\text{F7.7})$$

- Schwenkmethode

Die Messsonde wird handgeführt und tastet ein Raumvolumen ab. Beim Messgerät wird Max Hold eingestellt, so soll das Feldstärkenmaximum ermittelt werden. Problematisch wird es, wenn ein großer Frequenzbereich abgetastet werden soll, da die Sweeptime für die Messung abgewartet werden muss bevor weitergeschwenkt werden darf. Durch die Maxhold Einstellung ist eine Überbewertung von Signalen mit hohen Crestfaktor (siehe Kapitel 7.5 Crestfaktor) unvermeidbar. Für die Hochrechnung auf maximale Feldstärke müsste für jede Frequenz jedes Providers diese Abtastung neu durchgeführt werden, was einen enormen Zeitaufwand bedeuten würde. Durch die zeitliche Veränderung der räumlichen Interferenz kann auch bei dieser Messmethode nicht garantiert werden, dass der Messwert das Maximum darstellt.

- Drehmethode

Gleicher Ansatz wie die vorher beschriebene Schwenkmethode, nur dass die Messsonde auf einem Stativ, mittels Drehbewegung den Raum in Zylinderform abtastet. Dieser Vorgang wird auf mehreren verschiedenen Höhen wiederholt.

7.7.2. Dauermessung

Hierbei wird das Signal über einen längeren Zeitraum, meist einige Stunden gemessen, damit werden die vorher angesprochenen zeitlichen Auswirkungen besser berücksichtigt. Angewandt werden kann diese Langzeitmessung bei allen Punktmessmethoden.

Eine weitere Möglichkeit der Dauermessung ist die Messung mittels Dosimeter, auch hier können längere Zeiträume betrachtet werden. Da das Messgerät nicht örtlich fixiert, sondern von der Messperson mitgetragen wird, werden die Fading Effekte gemittelt.

7.7.3. Messgeräte und Einstellungen

- Dosimeter Messung

Für die Vergleichsmessungen stand das aktive Dosimeter „ExpoM-RF“ von der Fa. Fields-at-Work zur Verfügung. Es kann die Exposition im Frequenzbereich von 88 MHz bis 5,875 GHz in 16 fix definierten Bändern messen und in einem internen Speicher ablegen. Die gespeicherten Messwerte können über USB und eine Windows Software oder einer Android App via Bluetooth® ausgelesen und weiterverarbeitet werden.

Band name	E-UTRA Band	Frequency range	Typical dynamic range	
FM Radio		87.5 – 108 MHz	0.02 V/m	5 V/m
DVB-T		470 – 790 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 800 MHz downlink	Band XX	791 – 821 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 800 MHz uplink	Band XX	832 – 862 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 900 MHz uplink	Band VIII	880 – 915 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 900 MHz downlink	Band VIII	925 – 960 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 1800 MHz uplink	Band II	1710 – 1785 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 1800 MHz downlink	Band II	1805 – 1880 MHz	0.005 V/m	5 V/m
DECT		1880 – 1900 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 2.1 GHz uplink	Band I	1920 – 1980 MHz	0.003 V/m	5 V/m
Mobile 2.1 GHz downlink	Band I	2110 – 2170 MHz	0.003 V/m	5 V/m
ISM 2.4 GHz		2400 – 2485 MHz	0.005 V/m	5 V/m
Mobile 2.6 GHz uplink	Band VII	2500 – 2570 MHz	0.003 V/m	5 V/m
Mobile 2.6 GHz downlink	Band VII	2620 – 2690 MHz	0.003 V/m	5 V/m
Mobile 3.5 GHz	Band 42	3400 – 3600 MHz	0.003 V/m	3 V/m
ISM 5.8 GHz / U-NII 1-2e		5150 – 5875 MHz	0.05 V/m	5 V/m

Abbildung 88 Frequenzbereiche des ExpoM-RF

Das Dosimeter führt die Messungen als True RMS (Root Mean Square = Effektivwert) Messungen mit 300 ms Integrationszeit pro Band durch. Als Messantenne dient eine Isotrope Breitbandantenne die im Messgerätegehäuse fix verbaut ist. Die Anzahl der Messungen können

durch die Software im Bereich von 3 s bis 6000 s in 0,5 s Schritten eingestellt werden. Für die Vergleichsmessungen wurde 10 s Wiederholzeit, ohne GPS Aufzeichnung eingestellt.

Das Dosimeter wurde während der gesamten Messzeit am Körper der Versuchsperson getragen.

- Ein- und Mehrpunktmessung

Diese Messungen wurden mit dem Narda SRM3006 durchgeführt, für die Messung der Gesamtexposition wurde im Messmodus Safety Evaluation durchgeführt.

Antenna Name	Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz
Axis	RSS
Device Serial Number	F-0066
Device Firmware Version	V1.4.0
Device Calibration Date	24.11.2011
Cable Serial Number	
Cable Calibration Date	
Antenna Serial Number	K-0449
Antenna Calibration Date	11.11.2011

Die einzelnen zu messenden Dienste wurde in der Service Tabelle österreichische Funkdienste UL&DL definiert.

Long Name Österr. Funkdienste UL&DL

Service Table

Lower Freq	Unit[Lower F	Upper Freq	Unit[Upper F	Name	RBW	Unit[RBW]
47 MHz		68 MHz		Band I		200 kHz
87,5 MHz		108 MHz		UKW		30 kHz
174 MHz		230 MHz		Band II/DAB		30 kHz
380 MHz		390 MHz		TETRA UL		20 kHz
390 MHz		400 MHz		Tetra DL		20 kHz
470 MHz		791 MHz		Band IV/V/D'		200 kHz
791 MHz		821 MHz		LTE 800 DL		200 kHz
832 MHz		862 MHz		LTE 800 UL		200 kHz
876 MHz		880 MHz		GSM-R UL		200 kHz
880 MHz		915 MHz		GSM-900 UL		200 kHz
921 MHz		925 MHz		GSM-R DL		200 kHz
925 MHz		960 MHz		GSM-900 DL		200 kHz
1,71 GHz		1,785 GHz		GSM-1800 UL		200 kHz
1,805 GHz		1,88 GHz		GSM-1800 DL		200 kHz
1,881 GHz		1,9 GHz		DECT		200 kHz
1,92 GHz		1,98 GHz		UMTS 2100 U		200 kHz
2,11 GHz		2,17 GHz		UMTS 2100 D		200 kHz
2,4 GHz		2,483 GHz		WLAN 2,4GH		200 kHz
2,5 GHz		2,57 GHz		LTE 2600 UL		200 kHz
2,62 GHz		2,69 GHz		LTE 2600 DL		200 kHz
3,4 GHz		3,6 GHz		WiMax		500 kHz
5,47 GHz		5,725 GHz		WLAN 5GHz		2 MHz

Tabelle 14 Service Table "österreichische Funkdienste UL&DL

Folgende Messroutine wurde auf Basis des Setups und der Service Tabelle erstellt.

Measurement Routine Information

Long Name	Exposition&Code	Code	Messreihe
Measurement Routine	Storing Condition	Measurement Time	No. of Runs
Setup Name	Automatic Step	Text	
Spektrum 800 Mobilfunk LTE	Time	00:00:30	50 ON
c lte 800 a1	No. of Runs	00:00:00	4 ON
c lte 800 tma	No. of Runs	00:00:00	4 ON
Spektrum 900 Mobilfunk	Time	00:02:00	20 ON
Spektrum 2100MHz UMTS-LTE	No. of Runs	00:00:00	20 ON
c UMTS 1900 A11	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 A12	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 A13	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 A14	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 DREI 5	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 DREI 6	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 DREI 7	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 DREI 8	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 DREI 9	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 TMA10	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 TMA11	No. of Runs	00:00:00	10 ON
c UMTS 1900 TMA12	No. of Runs	00:00:00	10 ON
Spektrum 1800 gsm lte	Time	00:02:00	20 ON
c LTE 1800 DREI 2	No. of Runs	00:00:00	4 ON
c LTE 1800 TMA	No. of Runs	00:00:00	4 ON
Spektrum 2600 Mobilfunk LTE	No. of Runs	00:00:00	20 ON
c lte 2600 a11	No. of Runs	00:00:00	4 ON
c lte 2600 tma	No. of Runs	00:00:00	4 ON
c lte 2600 a12	No. of Runs	00:00:00	4 ON
c lte 2600 DREI 1	No. of Runs	00:00:00	4 ON
Spektrum 390 Tetra	No. of Runs	00:00:00	20 ON
Spektrum 1900 DECT	No. of Runs	00:00:00	20 ON
Spektrum 2400 w/Lan	Time	00:00:30	20 ON
safe_ul&dl m/w/m2	Time	00:06:00	1 ON
safe_ul&dl m/w/m2	Time	00:01:00	1 ON

Tabelle 15 Messroutine Exposition

Durch diese Messroutine konnte die Messung automatisch für alle Expositionsmesspunkte der Messreihe durchgeführt werden. Problematisch waren die Einstellungen der Messauflösung bei den einzelnen Teilmessungen. So musste die Messung, mit höherer Eingangsdämpfung wiederholt werden, falls das Messgerät eine Messbereichsüberschreitung aufzeigte.

Isotropic OVERDRIVEN		
Fcent:	2,112 8 GHz	Extrapolation:
Meas. Range:	100,00 mW/m ²	

Tabelle 16 Anzeige Messbereichsüberschreitung des Messgeräts Narda-SRM3006

7.8. Messreihe Einpunkt , Mehrpunktmessung und Dosimeter Messung

Für die Bewertung der einzelnen Messmethoden wurden in mehreren unterschiedlichen Orten die einzelnen Messungen durchgeführt. Die Auswahl der Orte erfolgte unter dem Kriterium möglichst viele unterschiedlichste Funkdienstzusammenstellungen zu messen. Dabei wurde versucht Unterschiede zwischen urbaner- und ländlicher Umgebung zu erfassen. Bei den einzelnen Messpunkten wird in der Bemerkung kurz auf die vorhandenen Sender eingegangen.

Bei den Mehrpunktmessungen wurden bei einigen Messpunkten Dreipunkt-, bei anderen Sechspunkt - Messungen durchgeführt, um auch diese Unterschiede zu dokumentieren.

Bei diesen Messungen kann durch mobile Sender, wie zum Beispiel ein Mobiltelefon, die sich nahe bei der Messsonde befinden, das Messergebnis beeinflusst werden. Solche Messergebnisse sind aber stark verfälscht, nicht reproduzierbar und daher auch nicht aussagekräftig. Bei Funkdiensten bei denen Uplink und Downlink auf unterschiedlichen Frequenzen betrieben werden, konnte die Feldstärken getrennt voneinander gemessen werden. Möglich war diese Messung durch Verwendung von frequenzselektiven Messgeräten.

Im Anhang sind für jeden Messpunkt die vollständigen Messtabellen sowie die Einstellungen des Messgerätes ersichtlich. Im Hauptdokument befinden sich die Zusammenfassung der Messwerte, sowie die Berechnung der Messwerte bezogen auf die Grenzwerte der ICNIRP für die allgemeine Bevölkerung in Prozent.

Messpunkt Nummer	1
Lage	Stadtrand – Indoor
Temperatur und Wetter	Wolkig; Temperatur 33 Grad trocken
Besonderheiten	24 Stundenmessung mittels aktiven Dosimeter, Mehrpunktmessung mit 6 Messpunkten
Fenster, Türen und Jalousien	alle offen

GPS Latitude 48°xx'26,0" N
GPS Longitude 16°xx'51,9" E

Date 04.04.2016
Time 15:37:17

Werte: Leistungsflussdichte
[mW/m²]

Grenzwertausschöpfung
ICNIRP GP [%]

Mehrpunktmessung S max S AVG
Hochrechnung 22,835 036 19,032 373
6min 30,660 120 25,310 230
6min ohne UP 27,647 582 23,054 680
1min 43,292 356 30,093 537
1min ohne UP 40,860 931 28,163 761

% max % Avg
1,082 0,917
1,240 1,042
1,128 0,950
1,243 0,988
1,151 0,913

Einpunktmessung
Hochrechnung 23,793 125 19,856 030
6min 32,131 960 26,442 150
6min ohne UP 28,952 900 24,091 580
1min 31,545 090 26,863 050
1min ohne UP 28,560 780 24,486 650

1,123 0,957
1,293 1,090
1,171 0,992
1,279 1,101
1,165 1,007

Dosimeter 0,391 783 0,182 721

0,020 0,009



Messpunkt Nummer	2
Lage	Stadttrand – Inndor
Temperatur und Wetter	Temperatur 33 Grad trocken
Besonderheiten	Mehrpunkt Messung mit 6 Messpunkten, keine Dosimeter Messung vorhanden
Fenster, Türen und Jalousien	alle offen

GPS Latitude 48°xx'34,3" N
GPS Longitude 14°xx'31,2" E

Date 24.05.2016
Time 13:53:14

Werte: Leistungsflussdichte
[mW/m²]

Grenzwertausschöpfung
ICNIRP GP [%]

Mehrpunktmessung S max S AVG
Hochrechnung 8,528 845 5,895 501
6min 56,927 860 49,919 537
6min ohne UP 38,505 863 33,276 280
1min 55,041 070 50,317 077
1min ohne UP 37,118 000 33,563 077

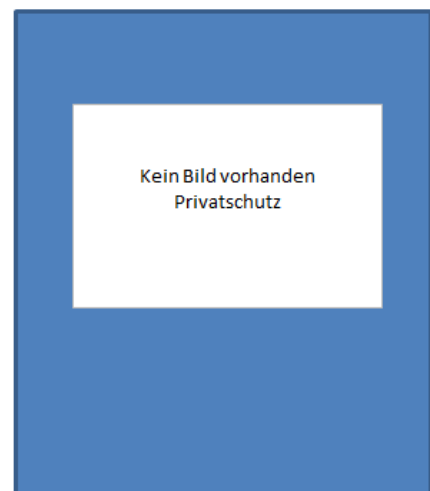
% max % Avg
0,396 0,285
0,963 0,789
0,698 0,556
0,911 0,792
0,657 0,561

Einpunktmessung
Hochrechnung 8,731 734 6,010 063
6min 58,215 320 50,932 740
6min ohne UP 39,519 730 33,953 130
1min 56,192 600 51,304 980
1min ohne UP 37,875 140 34,245 810

0,408 0,290
0,987 0,805
0,717 0,567
0,927 0,808
0,668 0,573

Dosimeter 0,000 000 0,000 000

0,000 0,000



Messpunkt Nummer	3
Lage	Stadttrand – Outdoor Terrasse
Temperatur und Wetter	Temperatur 33 Grad trocken
Besonderheiten	Mehrpunkt Messung mit 3 Messpunkten, keine Dosimeter Messung vorhanden
Fenster, Türen und Jalousien	alle offen

GPS Latitude 48°xx09'18" N
GPS Longitude 16°xx27'53" E

Datum 25.03.2016
Uhrzeit 17:35:15

Werte: Leistungsflussdichte
[mW/m²]

Grenzwertausschöpfung
ICNIRP GP [%]

Mehrpunktmessung

	S max	S AVG
Hochrechnung	8, 239 366	5, 671 785
6min	53, 687 552	47, 345 562
6min ohne UP	36, 260 568	31, 604 782
1min	52, 652 497	47, 510 308
1min ohne UP	35, 369 322	31, 695 183

Einpunktmessung

Hochrechnung	8, 582 623	5, 744 191
6min	54, 666 380	47, 743 180
6min ohne UP	37, 270 110	31, 885 300
1min	52, 203 930	47, 755 130
1min ohne UP	35, 167 830	31, 873 370

% max	% Avg
0,379	0,273
0,910	0,750
0,660	0,529
0,876	0,747
0,631	0,530
0,394	0,276
0,928	0,756
0,681	0,533
0,870	0,751
0,628	0,532

Dosimeter 0, 000 000 0, 000 000

0,000 0,000

Kein Bild vorhanden
Privatschutz

Messpunkt Nummer	4
Lage	Stadttrand – Outdoor
Temperatur und Wetter	Wolkig; Temperatur 25 Grad, Regen während der 6 Minuten Messung
Besonderheiten	24 Stundenmessung mittels aktiven Dosimeter; 6 Punkt Messung
Fenster, Türen und Jalousien	

GPS Latitude 48°xx'31,8" N
GPS Longitude 16°xx'04,4" E

Date 09.04.2016
Time 13:54:26

Werte:	Leistungsflussdichte [mW/m²]		Grenzwertausschöpfung ICNIRP GP [%]	
	S max	S AVG	% max	% Avg
Mehrpunktmessung				
Hochrechnung	21, 491 646	18, 095 885	1,010	0,866
6min	28, 594 030	23, 882 658	1,148	0,979
6min ohne UP	25, 772 157	21, 746 517	1,048	0,894
1min	27, 613 042	23, 792 112	1,115	0,971
1min ohne UP	24, 936 668	21, 679 305	1,018	0,892
Einpunktmessung				
Hochrechnung	21, 267 807	17, 868 652	0,998	0,853
6min	28, 263 260	23, 530 950	1,134	0,965
6min ohne UP	25, 466 940	21, 422 370	1,035	0,881
1min	27, 228 700	23, 504 580	1,102	0,962
1min ohne UP	24, 549 830	21, 422 500	1,003	0,882
Dosimeter	391, 783 066	182, 720 939	0,020	0,009



Messpunkt Nummer	5
Lage	Dörfliche Gegend
Temperatur und Wetter	Temperatur 28 Grad, trocken, Sonnenschein
Besonderheiten	24 Stundenmessung mittels aktiven Dosimeter; 6 Punkt Messung
Fenster, Türen und Jalousien	Terrassentür offen, Fenster geschlossen

GPS Latitude 47°xx33'13" N Date 15.04.2016
GPS Longitude 16°xx05'21" E Time 11:54:26

Werte:	Leistungsflussdichte [mW/m²]		Grenzwertausschöpfung ICNIRP GP [%]	
	S max	S AVG	% max	% Avg
Mehrpunktmessung				
Hochrechnung	33, 674 214	26, 694 267	1,250	1,052
6min	48, 990 660	38, 428 560	1,476	1,229
6min ohne UP	38, 176 780	30, 548 440	1,293	1,084
1min	49, 124 120	39, 086 807	1,486	1,257
1min ohne UP	38, 327 073	31, 216 040	1,304	1,117
Einpunktmessung				
Hochrechnung	55, 922 562	41, 967 119	1,554	1,273
6min	89, 217 340	66, 648 700	1,967	1,584
6min ohne UP	60, 718 780	46, 003 770	1,600	1,306
1min	88, 092 570	66, 624 500	1,920	1,579
1min ohne UP	59, 637 600	45, 985 910	1,555	1,305
Dosimeter	58, 066 869	28, 617 299	0,003	0,001



Messpunkt Nummer	6
Lage	Umland, Weinberge
Temperatur und Wetter	Temperatur 29 Grad, trocken, wolkenlos
Besonderheiten	Mobilfunksender in 10 m Abstand LTE1800MHz, UMTS 2100MHz 6 Punkt Messung
Fenster, Türen und Jalousien	

GPS Latitude 48°xx'38,0" N Date 07.06.2016
GPS Longitude 15°xx'48,0" E Time 11:56:17

Werte:	Leistungsflussdichte [mW/m²]		Grenzwertausschöpfung ICNIRP GP [%]	
	S max	S AVG	% max	% Avg
Mehrpunktmessung				
Hochrechnung	88, 157 982	43, 223 619	1,129	1,094
6min	84, 099 069	36, 345 915	1,993	0,854
6min ohne UP	83, 998 673	36, 270 729	1,990	0,851
1min	77, 817 977	34, 830 302	1,831	0,810
1min ohne UP	77, 724 079	34, 754 610	1,828	0,807
Einpunktmessung				
Hochrechnung	98, 553 348	53, 438 650	1,396	1,350
6min	76, 958 350	35, 046 393	1,840	0,838
6min ohne UP	76, 855 280	34, 968 484	1,837	0,835
1min	59, 036 818	28, 225 846	1,418	0,665
1min ohne UP	58, 942 108	28, 147 388	1,415	0,662
Dosimeter	0, 000 000	0, 000 000	0,000	0,000



Messpunkt Nummer	7
Lage	Innenstadt Bürohaus Innenhof
Temperatur und Wetter	Temperatur 17 Grad, Regen
Besonderheiten	Mobilfunk Repeater im Nachbarzimmer; 6 Punkt Messung
Fenster, Türen und Jalousien	Fenster offen

GPS Latitude 48°xx'43,0" N
GPS Longitude 16°xx'21,0" E

Date 04.04.2016
Time 09:00:04

Werte: Leistungsflussdichte
[mW/m²]

Grenzwertausschöpfung
ICNIRP GP [%]

Mehrpunktmessung	S max	S AVG
Hochrechnung	24, 038 823	20, 084 630
6min	32, 430 665	26, 623 135
6min ohne UP	29, 290 690	24, 251 487
1min	31, 240 737	26, 768 360
1min ohne UP	28, 230 310	24, 382 558
Einpunktmessung		
Hochrechnung	23, 573 478	19, 502 138
6min	31, 340 700	25, 741 250
6min ohne UP	28, 306 460	23, 436 000
1min	30, 858 340	26, 522 120
1min ohne UP	27, 862 200	24, 155 440

Dosimeter 0, 000 000 0, 000 000

% max	% Avg
1,126	0,959
1,290	1,088
1,177	0,994
1,250	1,089
1,141	0,999
1,103	0,931
1,258	1,055
1,149	0,964
1,236	1,080
1,129	0,990



Messpunkt Nummer	8
Lage	ländliche Umgebung outdoor
Temperatur und Wetter	Temperatur 16 Grad, bewölkt
Besonderheiten	Mobilfunksender in 100m Entfernung; 6 Punkt Messung
Fenster, Türen und Jalousien	

GPS Latitude 48°xx'34,3" N Date 24.05.2016
GPS Longitude 14°xx'31,2" E Time 13:53:14

Werte:	Leistungsflussdichte [mW/m ²]		Grenzwertausschöpfung ICNIRP GP [%]	
	S max	S AVG	% max	% Avg
Mehrpunktmessung				
Hochrechnung	0,712 955	0,533 612	0,032	0,025
6min	0,767 230	0,578 489	0,029	0,024
6min ohne UP	0,697 776	0,529 825	0,027	0,021
1min	0,700 000	0,576 952	0,028	0,023
1min ohne UP	0,638 031	0,528 198	0,025	0,021
Einpunktmessung				
Hochrechnung	0,745 367	0,551 977	0,033	0,025
6min	0,798 509	0,584 807	0,030	0,024
6min ohne UP	0,728 605	0,536 058	0,027	0,022
1min	0,710 617	0,582 113	0,028	0,024
1min ohne UP	0,649 269	0,533 791	0,025	0,022
Dosimeter	0,000 000	0,000 000	0,000	0,000



Messpunkt Nummer	9
Lage	ländliche Umgebung - Eventbetrieb
Temperatur und Wetter	Wolkig; Temperatur 25 Grad Regen und Gewitter
Besonderheiten	mobiler Sendeanlagen aller Mobilfunkbetreiber UMTS wird über Multisektorenantennen abgestrahlt. Entfernung ca.15 m Messung erfolgt als Spotmessung. Es soll der Unterschied Messung mit und ohne Hochrechnung dokumentiert werden.
Fenster, Türen und Jalousien	

GPS Latitude 47°xx'38,6" N Date 09.06.2016
GPS Longitude 17°xx'05,1" E Time 16:36:53

Werte:	Leistungsflussdichte [mW/m ²]		Grenzwertausschöpfung ICNIRP GP [%]	
	S max	S AVG	% max	% Avg
Mehrpunktmessung				
Hochrechnung	-----	-----	-----	-----
6min	-----	-----	-----	-----
6min ohne UP	-----	-----	-----	-----
1min	-----	-----	-----	-----
1min ohne UP	-----	-----	-----	-----
Einpunktmessung				
Hochrechnung	360,368 918	322,155 063	3,845	3,329
6min	286,405 235	98,547 324	2,963	1,028
6min ohne UP	286,341 575	98,498 375	2,960	1,026
1min	286,294 235	98,447 324	2,960	1,026
1min ohne UP	286,230 575	98,398 375	2,957	1,024
Dosimeter	0,000 000	0,000 000	0,000	0,000



Messpunkt Nummer	10
Lage	ländliche Umgebung - Eventbetrieb
Temperatur und Wetter	Wolkig; Temperatur 25 Grad Regen und Gewitter
Besonderheiten	mobiler Sendeanlagen aller Mobilfunkbetreiber UMTS wird über Multisektorenantennen abgestrahlt. Entfernung ca.40 m Messung erfolgt als Spotmessung. Es soll der Unterschied Messung mit und ohne Hochrechnung dokumentiert werden.
Fenster, Türen und Jalousien	

GPS Latitude 47°xx'39,8" N 42530 09.06.2016
GPS Longitude 17°xx'02,6" E 0,75997685 16:36:53

Werte:	Leistungsflussdichte [mW/m²]		Grenzwertausschöpfung ICNIRP GP [%]	
	S max	S AVG	% max	% Avg
Mehrpunktmessung				
Hochrechnung	-----	-----	-----	-----
6min	-----	-----	-----	-----
6min ohne UP	-----	-----	-----	-----
1min	-----	-----	-----	-----
1min ohne UP	-----	-----	-----	-----
Einpunktmessung				
Hochrechnung	130, 916 196	101, 200 171	2,668	1,487
6min	136, 619 207	49, 980 061	1,766	0,605
6min ohne UP	136, 551 326	49, 931 902	1,764	0,603
1min	108, 204 184	51, 100 131	1,319	0,621
1min ohne UP	108, 143 564	51, 051 769	1,317	0,619
Dosimeter	0, 000 000	0, 000 000	0,000	0,000



8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Messreihe zeigt, dass bei Messwerten bis ca. 2% bezogen auf den Grenzwert der ICNIRP GP es zu keinem signifikanten Unterschied der Messwerte kommt unabhängig ob der Sender auf Volllastauslastung hochgerechnet wurde oder nicht. Durch die Hochrechnung kann es vorkommen, dass das berechnete Ergebnis der Grenzwertauslastung geringer ist als ohne Volllastberechnung. Dieser Umstand kann zurückgeführt werden auf

- „prinzipienbedingte Eigenschaft der codeselektiven Messtechnik aufgrund derer nur solche Zellen erkannt und dekodiert werden, die gegenüber der dominierenden Zelle regelmäßig nicht zu klein sind“ Narda [L20] und
- aufgrund der teilweise sehr kleinen Störsignal- Nutzabstände führt die Mitmessung des Rauschpegels zu einer merkbaren Erhöhung des Gesamtmessergebnisses. In Unterschied dazu werden bei der Messmethode für die Hochrechnung auf Volllastbetrieb der Sender nur die auswertbaren Nutzsignale, ohne das dazwischen befindliche Rauschen berücksichtigt.

Ab etwa 3% ICNIRP Grenzwertauslastung zeigen sich die Auswirkungen der Hochrechnung, die nun höher ist als ohne Hochrechnung. Der genaue Prozentsatz konnte nicht eruiert werden, da bei den meisten Messpunkten die Auslastung weniger als 2 % beträgt.

Das Dosimeter, ist aufgrund seiner Unempfindlichkeit nicht geeignet, die Exposition an Messorten mit sehr geringen Feldstärken zu bestimmen.

Bei der gesamten Messreihe konnten keine größeren Messunterschiede zwischen Einpunkt und Mehrpunktmessung beobachtet werden. Da die gemessenen Fading Schwankungen bei zeitlicher Betrachtung um ca. 20 % größer sind als die räumlichen Schwankungen ist es zulässig die Exposition auch mittels Einpunkt Messung durchzuführen.

Zusammenfassend: Die Messung kann als Einpunkt Messung ohne Hochrechnung mit einer Messdauer von 6 Minuten stattfinden. Bei Messungen ab 3 % Grenzwertauslastung ist auf Volllastauslastung hochzurechnen. Ob der Wert ab dem auf Volllastauslastung hochzurechnen ist noch höher angesetzt werden kann, müsste in einer weiteren Messreihe abgeklärt werden.

Mögliche Zukunftsprobleme bei der Messung der Exposition

Die am Anfang des Mobilfunks noch gebräuchlichen Rundstrahl Antennen wurden um die Zellengröße zu verkleinern, später durch Sektor Antennen ersetzt. Üblich sind 3 x 120 Grad oder 3 x (2 x 30 Grad) Sektor Antennen. Um die Sektorengröße noch weiter zu reduzieren, wurden adaptive oder auch intelligente Antennenanlagen entwickelt. Damit ist es möglich dem Mobilteilnehmer mittels sehr schmaler Antennenöffnungswinkel zu folgen. Möglich wird dies durch Antennenarrays, die empfangsseitig durch Laufzeitdifferenzen den Einfallswinkel berechnen und dann sendeseitig durch unterschiedliche Phasensteuerung den Beam in die Richtung des

Mobilteilnehmers drehen. Da dieses nicht mechanisch sondern elektronisch erfolgt, kann dieses im Millisekunden Bereich erfolgen. Für Organisations- und Verbindungsdaten wird Beamforming nicht verwendet. Bei Verwendung von Beamforming ist die Messung der Exposition mit den derzeitigen Messmethoden nicht möglich.

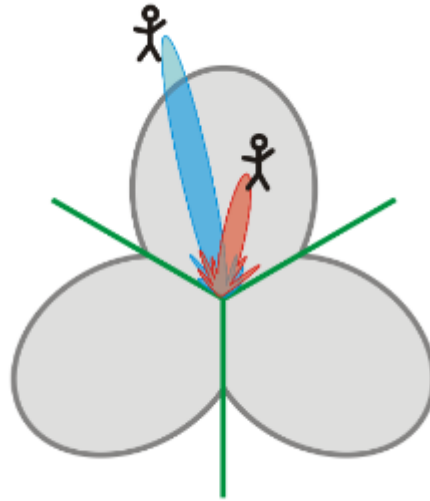


Abbildung 89 Unterscheidung Sektor und adaptive Antennen

Quelle Diplomarbeit Martin Böhner [L33]

9. Literatur und Quellen Verzeichnis

L1. Rainer Elschenbroich Dipl. – Ingenieur:

Biologische Wirkungen von elektromagnetischen Feldern und Wellen

Aktuelles zur biologischen Wirkung hochfrequenter Strahlung

<http://www.elschenbroich.com>

L2. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Christoph Revermann November 2002 Gesundheitliche und ökologische Aspekte bei mobiler Telekommunikation und Sendeanlagen – wissenschaftlicher Diskurs, regulatorische Erfordernisse und öffentliche Debatte

<https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab082.pdf>

L3. Kurs Digitale Radio und TV System

DI Peter Kottar

http://www.ors.at/fileadmin/user_upload/files/Kurs_Digitale_Radio_und_TV_Systeme.pdf

L4. Kathrein Mobilfunk-Antennentechnik

Grundlagen der Antennentechnik

<http://www.kathrein.de/fileadmin/media/content/08-Mobilfunkantennensysteme/mobilfunk-antennentechnik.pdf>

L5. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement

(<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>)

L6. Deutsche Fassung von „Evaluation of measurement data“ Leitfaden zur Angabe der

Unsicherheit beim Messen <https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt8/fb-84/ag-840/publika-840/jcgm-104.html>

L7. BUWAL/METAS 2002: Mobilfunk-Basisstationen (GSM) – Messempfehlung. (VU-5800-D),

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00685/index.html?lang=de

L8. BUWAL/METAS 2003: Mobilfunk-Basisstationen (UMTS-FDD) – Messempfehlung,

Entwurf.

<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01100/01108/01110/index.html?lang=de#sprungma>
[rke0_23](#)

L9. METAS 2012: Technical report: Measurement Method for LTE Base Stations. Deutsche

Übersetzung 2014 http://www.metas.ch/2012-218-808_DE

L10. METAS Die Messunsicherheit beim Messen der Strahlung von Mobilfunk

Basisstationen (Amtsbericht)

http://www.metas.ch/dam/data/metas/Dokumentation/METASPublikationen/BerichteMETASPublikationen/Bericht_Messunsicherheit.pdf

L11. Applikation Note Berücksichtigung der Messunsicherheiten beim SRM-3000

AN_HF_1004_Messunsicherheit

http://www.nardasts.com/pdf/fachartikel/AN_HF_1004_D_Messunsicherheit_2008_01_22.pdf, verfügbar 4.3.2016

- L12. Frequenznutzungsverordnung 2013 (FNV 2013)
<http://www.bmvit.gv.at/bmvit/telekommunikation/funk/frequenzverw/natplan/index.html>,
 verfügbar 4.12.2015
- L13. Nichtionisierende Strahlung und Gesundheitsschutz in der Schweiz 1995
http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/02644/02645/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yug2Z6gpJCFe4N9f2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--, verfügbar am 4.12.2015
- L14. EN 300 401 Europäische Norm für digitalen Rundfunk für mobile, tragbare und ortsfeste Empfänger V1.4.1 Stand 2006.01
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300401/01.04.01_40/en_300401v010401o.pdf, verfügbar 18.3.2016
- L15. EN Vor-Norm ENV13005 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen
 käuflich erwerbbar über <https://www.austrian-standards.at/home/>, verfügbar 4.12.2015
- L16. Die Messunsicherheit beim Messen der Strahlung von Mobilfunk Basisstationen (Amtsbericht)
http://www.metas.ch/dam/data/metas/Dokumentation/METASPublikationen/BerichteMETA_SPublikationen/Bericht_Messunsicherheit.pdf
- L17. Bedienungsanleitung Narda SRM 3006
 Bestell-Nr.: 3006/98.01
 Ausgabe: 05/05.2012, A
 Seite 218
- L18. Recommendation ITU-R SM.1268-3
 Messung der maximalen Frequenz Hubes der Aussendungen von FM Sendern.
 Ausgabe von 8.2014
www.itu.int/rec/R-REC-SM.1268 verfügbar 20.7.2015
- L19. ETSI Norm TS 145 002V13.0.0
 Technische Spezifikation von digital zellularen Mobilfunk (GSM)
 Ausgabe von 1.2016 verfügbar 10.3.2016
<http://standards.globalspec.com/std/9987435/etsi-ts-145-002>
- L20. AN_HF_1064_D_LTE-Messmethoden_2013-03
 Ausgabe von 3.2013
http://www.nardasts.com/pdf/fachartikel/AN_HF_1064_D_LTE-Messmethoden_2013-03-26.pdf verfügbar 20.2.2016
- L21. EMV Richtlinie
 Regelt die Störfelder die ein Gerät aussenden und ausgesetzt sein darf
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32014L0030>
- L22. ETSI EN 301 406 V2.1.1
 ETSI Norm für harmonisierten DECT Standard
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/301406/02.01.01_60/en_301406v020101p.pdf, verfügbar am 11.3.2016

- L23. FSB Funkschnittstellen Beschreibungen der Funkssysteme FSB-LM
Ausgabe 24.3.2014
Nationale Beschreibung der Funkschnittstelle eines Systems, entsprechend dem Artikel 4.1 der Richtlinie 1999/5/EG. Wird herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und ist öffentlich einsehbar.
<http://www.bmvit.gv.at/telekommunikation/marktueberwachung/fsb/funkschnittstellen/fsblm.pdf> verfügbar am 10.2.2016
- L24. EMVU-Messtechnik von P. Weiß, B. Gutheil, D. Gust und P. Leiß
ISBN-13: 978-3-322-89882-1 © Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig Wiesbaden, 2000
- L25. Digitale Signalübertragung im Mobilfunk Dr. Ing. Heinrich Nuszowski
ISBN 978-3-938860-26-7 Jörg Vogt Verlag 1.Auflage Februar 2010
- L26. Önorm/ Europäische Norm EN50383 Grundnorm für die Berechnung und Messung der elektromagnetischen Feldstärke und SAR in Bezug auf die Sicherheit von Personen in elektromagnetischen Feldern von Mobilfunk-Basisstationen und stationären Teilnehmergeräten von schnurlosen Telekommunikationsanlagen (110 MHz bis 40 GHz)
Ausgabe: 2011-07-01 <https://shop.austrian-standards.at>
- L27. ETS 300 392 ETSI Dokument für den TETRA Standard Part 1 bis Part 16
http://www.etsi.org/deliver/etsi_i_ets/300300_300399/30039201/01_60/ets_30039201e01p.pdf
- L28. Österreichisches TKG Telekommunikationsgesetz 2003 in der Fassung vom 30.5.2016
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002849>
- L29. Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH (RTR-GmbH)
Freigabegenehmigung für alle verwendeten Grafiken und Texte der RTR GmbH
MMag. Daniela Andreasch
Leiterin Presse- und Öffentlichkeitsarbeit-2.6.2016
- L30. Rohde & Schwarz: Introduction to MIMO, Application Note 1MA142, July 2009
- L31. Rohde & Schwarz LTE Beamforming Measurements3 1MA187 1e
- L32. EN 50492 Ausgabe: 2009-10-01 Grundnorm für die Messung der elektromagnetischen Feldstärke am Aufstell- und Betriebsort von Basisstationen in Bezug auf die Sicherheit von in ihrer Nähe befindlichen Personen Herausgeber OVE
Österreichischer Verband für Elektrotechnik Austrian Standards Institute
- L33. Adaptive Optimierung der Richtcharakteristik von Gruppenantennen mittels Ant Colony Optimization, Simulated Annealing und Hybrid Genetischem Algorithmus
Diplomarbeit im Fach Informatik Martin Böhner Institut für Informatik Lehrstuhl für Informatik 2 Programmiersysteme Friedrich-Alexander-Universität Erlangen–Nürnberg
Prof. Dr. M. Philippsen 4.12.2004

<https://www2.informatik.uni-erlangen.de/teaching/thesis/download/i2D00321.pdf> verfügbar
am 10.12.2015

L34. Frequenznutzungsverordnung

<http://www.bmvit.gv.at/bmvit/telekommunikation/funk/frequenzverw/natplan/index.html>

Stand 2013

L35. Normgerechte Feldstärkemessungen in der Umgebung von GSM- und UMTS

Mobilfunkbasisstationen Fachhochschule Deggendorf Prof. Dr.-Ing. Matthias Wuschek

http://www.imst.de/itg9_1/vortraege/oktober2003/Folien/F%20Wuschek.pdf verfügbar am

3.2.2016

L36. Workshop „Mess- und Konformitätsunsicherheit in der EMV“ Prof. Dr.-Ing. M.

Wuschek, Dr. Stecher 5.3.2013

L37. Infoblatt des Messkünstkopf ESM 120 der Fa. Maschek für SAR Messungen

<http://maschek.de/pdf/ESM-120-de.pdf> verfügbar am 11.12.2015

Die Formeln in diesem Dokument wurden mit dem Online Formeleditor erstellt.

<http://www.matheretter.de/tools/formeleditor/>

10. Anlagen

10.1. Anlage A

Messeinstellungen NARDA SRM3006

Spektrumsdarstellung

Frequenz und Messbereichseinstellung wurden für jeden Funkdienst entsprechend eingestellt.

Details	
Starting Mode	Spectrum
Unit	W/m ²
Measurement Range (MR)	-30 dBm
Frequency Range	80 MHz - 110 MHz
RBW	50 kHz
VBW on	On
VBW	500 Hz
Peak Table	Off
Integration over a Frequency Band	Off
Marker	Off
Keep Marker	Off
Antenna used	Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz
Cable used	---
Service Table used	A_Österreich Funkdienste
Standard used	ICNIRP 1998 General Public
Result Type Act (Actual)	Off
Result Type Max (Maximum)	On
Result Type MxAvg (Maximum Average)	On
Result Type Avg (Average)	Off
Result Type MnAvg (Minimum Average)	Off
Result Type Min (Minimum)	Off
Result Type Std (Standard)	Off

Codeselektive Messung UMTS

Frequenz und Messbereichseinstellung wurden für jeden UMTS Kanal entsprechend eingestellt.

Details	
Starting Mode	UMTS
Unit	W/m ²
Measurement Range (MR)	-19 dBm
Fcent	2,1128 GHz
Antenna used	Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz
Cable used	---
Service Table used	A_Österreich UMTS 2100
Standard used	ICNIRP 1998 General Public
Result Type Act (Actual)	Off
Result Type Max (Maximum)	On
Result Type MxAvg (Maximum Average)	On
Result Type Avg (Average)	Off
Result Type MnAvg (Minimum Average)	Off
Result Type Min (Minimum)	Off
Result Type Std (Standard)	On

Codeselektive Messung LTE

Frequenz und Messbereichseinstellung wurden für jeden LTE Kanal entsprechend eingestellt.

Details	
Starting Mode	LTE
Unit	W/m ²
Measurement Range (MR)	-30 dBm
Fcent	2,63 GHz
Channel Bandwidth (CBW)	20 MHz
Cell Synchronization	On
Cyclic Prefix Length	CP_NORMAL
Antenna used	Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz
Cable used	---
Service Table used	A_Österreich LTE 2600Mhz
Standard used	ICNIRP 1998 General Public
Result Type Act (Actual)	Off
Result Type Max (Maximum)	On
Result Type MxAvg (Maximum Average)	Off
Result Type Avg (Average)	On
Result Type MnAvg (Minimum Average)	Off
Result Type Min (Minimum)	Off
Result Type Std (Standard)	On

Messeinstellung für die Safty Messung

Details	
Starting Mode	Safety
Unit	W/cm ²
Measurement Range (MR)	-30 dBm
RBW Setting	Auto
Distribution	Off
Marker	Off
Keep Marker	Off
View	Table
Antenna used	Three-Axis Antenna 27MHz - 3GHz
Cable used	---
Service Table used	A_Österreich Funkdienste
Standard used	ICNIRP 1998 General Public
Result Type Act (Actual)	Off
Result Type Max (Maximum)	On
Result Type MxAvg (Maximum Average)	Off
Result Type Avg (Average)	On
Result Type MnAvg (Minimum Average)	Off
Result Type Min (Minimum)	Off
Result Type Std (Standard)	Off

Service Table

Uplink- und Downlink Frequenzbereiche wurden getrennt eingestellt

Long Name Österr. Funkdienste UL&DL

Service Table

Lower Freq[MHz]	Upper Freq[MHz]	Name	RBW	Unit[RBW]
47 MHz	68 MHz	Band I	200 kHz	
87,5 MHz	108 MHz	UKW	30 kHz	
174 MHz	230 MHz	Band II/DAB	30 kHz	
380 MHz	390 MHz	TETRA UL	20 kHz	
390 MHz	400 MHz	Tetra DL	20 kHz	
470 MHz	791 MHz	Band IV/V/D1	200 kHz	
791 MHz	821 MHz	LTE 800 DL	200 kHz	
832 MHz	862 MHz	LTE 800 UL	200 kHz	
876 MHz	880 MHz	GSM-R UL	200 kHz	
880 MHz	915 MHz	GSM-900 UL	200 kHz	
921 MHz	925 MHz	GSM-R DL	200 kHz	
925 MHz	960 MHz	GSM-900 DL	200 kHz	
1,71 GHz	1,785 GHz	GSM-1800 UL	200 kHz	
1,805 GHz	1,88 GHz	GSM-1800 DL	200 kHz	
1,881 GHz	1,9 GHz	DECT	200 kHz	
1,92 GHz	1,98 GHz	UMTS 2100 U	200 kHz	
2,11 GHz	2,17 GHz	UMTS 2100 D	200 kHz	
2,4 GHz	2,483 GHz	WLAN 2,4GH	200 kHz	
2,5 GHz	2,57 GHz	LTE 2600 UL	200 kHz	
2,62 GHz	2,69 GHz	LTE 2600 DL	200 kHz	
3,4 GHz	3,6 GHz	WiMax	500 kHz	
5,47 GHz	5,725 GHz	WLAN 5GHz	2 MHz	

Messroutine

Die Messdauer wurde in Testreihen ermittelt ab welcher Zyklen Anzahl bzw. Messzeit es zu keiner Veränderung des Messergebnisses mehr kommt. Die spektrums Darstellung wurde zur Kontrolle der einzelnen codeselektiven Messungen durchgeführt.

Measurement Routine Information

Long Name Measurement Routine	Exposition&Code Messreihe				
Setup Name	Storing Condition	Measurement Time	No. of Runs	Automatic Step	Text
Spektrum 800 Mobilfunk LTE	Time	00:00:30	50	ON	Spektrum 800 LTE
c lte 800 a1	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 800 A1
c lte 800 tma	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 800 TMA
Spektrum 900 Mobilfunk	Time	00:02:00	20	ON	Spektrum 900 GSM
Spektrum 2100MHz UMTS-LTE	No. of Runs	00:00:00	20	ON	Spektrum 2100 UMTS
c UMTS 1900 A11	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 A1
c UMTS 1900 A12	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 A1
c UMTS 1900 A13	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 A1
c UMTS 1900 A14	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 A1
c UMTS 1900 DREI 5	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 Drei
c UMTS 1900 DREI 6	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 Drei
c UMTS 1900 DREI 7	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 Drei
c UMTS 1900 DREI 8	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 Drei
c UMTS 1900 DREI 9	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 Drei
c UMTS 1900 TMA10	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 TMA
c UMTS 1900 TMA11	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 TMA
c UMTS 1900 TMA12	No. of Runs	00:00:00	10	ON	UMTS 1900 TMA
Spektrum 1800 gsm lte	Time	00:02:00	20	ON	Spektrum 1800 GSM LTE
c LTE 1800 DREI 2	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 1800 Drei
c LTE 1800 TMA	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 1800 Drei
Spektrum 2600 Mobilfunk LTE	No. of Runs	00:00:00	20	ON	Spektrum 2600
c lte 2600 a11	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 2600 A1
c lte 2600 tma	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 2600 TMA
c lte 2600 a12	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 2600 A1
c lte 2600 DREI 1	No. of Runs	00:00:00	4	ON	LTE 2600 DREI
Spektrum 390 Tetra	No. of Runs	00:00:00	20	ON	Spektrum 390 DL
Spektrum 1900 DECT	No. of Runs	00:00:00	20	ON	Spektrum DECT
Spektrum 2400 w/Lan	Time	00:00:30	20	ON	Spektrum w/LAN
safe_ul&dl m/w/m2	Time	00:06:00	1	ON	Safe dbμw/m2 6min
safe_ul&dl m/w/m2	Time	00:01:00	1	ON	Safe dbμw/m2 1min

10.2. Anlage B

Detail Messergebnisse der Messpunkte 1 bis 9

Messpunkt 1									
Hochrechnung	Messung 6min			Messung 1min			Leistungsfussdichte [W/m²]		
	Prozent			Prozent			S max		
	S max	SAVG	% max % Avg	S max	SAVG	% max % Avg	S max	SAVG	% max % Avg
Band I	0,003 678 167	0,002 340 333	0,177 0,113	Band I	0,003 678 167	0,002 340 333	0,177 0,113	0,002 914 713	0,002 011 590
UKW	0,001 405 000	0,000 894 050	0,068 0,043	UKW	0,001 405 000	0,000 894 050	0,068 0,043	0,001 075 392	0,000 763 243
Band II/DAB	0,001 324 333	0,000 973 917	0,064 0,047	Band II/DAB	0,001 324 333	0,000 973 917	0,064 0,047	0,001 109 468	0,000 836 970
Tetra	0,000 000 426	0,000 000 318	0,000 0,000	Tetra UL	0,000 317 017	0,000 168 637	0,016 0,008	0,000 245 854	0,000 144 420
BandIV/V/DVB T	0,000 166 750	0,000 088 085	0,073 0,065	BandIV/V/DVB T	0,000 166 750	0,000 088 085	0,073 0,065	0,000 127 712	0,000 074 811
LTE 800	0,000 005 717	0,000 004 978	0,000 0,000	LTE 800 DL	0,001 921 517	0,001 655 533	0,078 0,068	0,001 590 794	0,001 421 140
GSM-R DL	0,000 188 017	0,000 027 892	0,001 0,000	GSM-R UL	0,000 062 253	0,000 027 892	0,001 0,001	0,000 044 308	0,000 024 051
GSM 900				GSM-900 UL	0,000 385 017	0,000 280 000	0,009 0,006	0,003 083 738	0,001 387 749
GSM1800	0,000 000 518	0,000 000 418	0,000 0,000	GSM-1800 UL	0,000 822 633	0,000 655 100	0,009 0,007	0,002 570 139	0,001 802 448
LTE1800	0,000 000 844	0,000 000 764	0,000 0,000	LTE1800				0,000 000 000	0,000 000 000
UMTS2100	0,000 004 558	0,000 004 207	0,000 0,000	UMTS 2100 UL	0,001 130 900	0,000 865 367	0,012 0,009	0,013 087 981	0,006 435 126
LTE2600				LTE 2600 UL	0,003 389 667	0,002 666 500	0,034 0,027	0,003 858 490	0,002 614 055
WLAN 2,4GHz	0,001 781 000	0,001 449 167	0,018 0,015	WLAN 2,4GHz	0,001 781 000	0,001 449 167	0,018 0,015	0,001 509 433	0,001 244 218
DECT	0,000 162 533	0,000 088 983	0,002 0,001	DECT	0,000 162 533	0,000 088 983	0,002 0,001	0,000 122 917	0,000 077 716
Others	0,014 113 333	0,013 156 667	0,679 0,633	Others	0,014 113 333	0,013 156 667	0,679 0,633	0,011 951 417	0,011 256 000
Gesamt Hochrechnung	0,022 835 036	0,019 032 373	1,082 0,917	Gesamt 6min	0,030 660 120	0,025 310 230	1,240 1,042	0,043 292 356	0,030 093 537
				Gesamt 6min ohne UP	0,027 647 582	0,023 054 680	1,128 0,950	0,040 860 991	0,028 163 761
Messpunkt 2									
Hochrechnung	Messung 6min			Messung 1min			Leistungsfussdichte [W/m²]		
	Prozent			Prozent			S max		
	S max	SAVG	% max % Avg	S max	SAVG	% max % Avg	S max	SAVG	% max % Avg
Band I	0,003 543 333	0,002 296 333	0,171 0,111	Band I	0,003 543 333	0,002 296 333	0,171 0,111	0,003 170 667	0,002 328 000
UKW	0,001 334 667	0,000 861 133	0,064 0,041	UKW	0,001 334 667	0,000 861 133	0,064 0,041	0,001 197 667	0,000 870 267
Band II/DAB	0,001 199 333	0,000 904 467	0,058 0,044	Band II/DAB	0,001 199 333	0,000 904 467	0,058 0,044	0,001 111 000	0,000 915 633
Tetra	0,000 000 011	0,000 000 008	0,000 0,000	Tetra UL	0,000 289 767	0,000 166 303	0,014 0,008	0,000 283 833	0,000 173 330
BandIV/V/DVB T	0,000 155 133	0,000 086 810	0,070 0,061	BandIV/V/DVB T	0,000 155 133	0,000 086 810	0,070 0,061	0,000 155 167	0,000 089 417
LTE 800	0,000 000 024	0,000 000 007	0,000 0,000	LTE 800 DL	0,001 833 367	0,001 554 500	0,075 0,064	0,001 720 933	0,001 561 833
GSM-R DL	0,000 181 367	0,000 027 630	0,001 0,000	GSM-R UL	0,000 061 260	0,000 027 630	0,001 0,001	0,000 045 537	0,000 027 137
GSM 900				GSM-900 UL	0,000 505 667	0,000 278 967	0,011 0,006	0,000 353 200	0,000 277 467
GSM1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000 0,000	GSM-1800 UL	0,000 794 533	0,000 643 467	0,009 0,007	0,000 771 233	0,000 654 967
LTE1800	0,000 000 055	0,000 000 025	0,000 0,000	LTE1800				0,000 000 000	0,000 000 000
UMTS2100	0,000 000 125	0,000 000 052	0,000 0,000	UMTS 2100 UL	0,001 087 600	0,000 855 100	0,011 0,009	0,001 069 567	0,000 859 400
LTE2600				LTE 2600 UL	0,044 010 000	0,040 526 667	0,446 0,410	0,043 026 667	0,040 820 000
WLAN 2,4GHz	0,001 667 333	0,001 343 333	0,017 0,014	WLAN 2,4GHz	0,001 667 333	0,001 343 333	0,017 0,014	0,001 687 000	0,001 362 000
DECT	0,000 134 167	0,000 086 627	0,001 0,001	DECT	0,000 134 167	0,000 086 627	0,001 0,001	0,000 139 100	0,000 088 827
Others	0,000 311 700	0,000 288 200	0,015 0,014	Others	0,000 311 700	0,000 288 200	0,015 0,014	0,000 309 500	0,000 288 800
Gesamt Hochrechnung	0,008 528 845	0,005 895 501	0,396 0,285	Gesamt 6min	0,056 927 860	0,049 919 537	0,963 0,789	0,055 041 070	0,050 317 077
				Gesamt 6min ohne UP	0,038 505 863	0,033 276 280	0,698 0,556	0,037 118 000	0,033 563 077

Messpunkt 3										Messpunkt4									
Hochrechnung	Messung 6min				Messung 1min				Prozent % max % Avg	Leistungsfussdichte [W/m²]				Leistungsfussdichte [W/m²]				Prozent % max % Avg	
	S max	S AVG	% max	% Avg	S max	S AVG	% max	% Avg		S max	S AVG	% max	% Avg	S max	S AVG	% max	% Avg		
Band I	0,003 483 167	0,002 209 667	0,168	0,106	Band I	0,003 483 167	0,002 209 667	0,168	0,106	Band I	0,003 123 167	0,002 201 000	0,150	0,106	Band I	0,003 123 167	0,002 201 000	0,150	0,106
UKW	0,001 232 667	0,000 819 283	0,059	0,039	UKW	0,001 232 667	0,000 819 283	0,059	0,039	UKW	0,001 156 500	0,000 810 733	0,056	0,039	UKW	0,001 156 500	0,000 810 733	0,056	0,039
Band II/DAB	0,001 072 500	0,000 849 283	0,052	0,041	Band II/DAB	0,001 072 500	0,000 849 283	0,052	0,041	Band II/DAB	0,001 040 233	0,000 853 283	0,050	0,041	Band II/DAB	0,001 040 233	0,000 853 283	0,050	0,041
Tetra	0,000 000 041	0,000 000 032	0,000	0,000	Tetra UL	0,000 290 233	0,000 156 795	0,014	0,008	Tetra UL	0,000 250 517	0,000 156 023	0,012	0,003	Tetra UL	0,000 250 517	0,000 156 023	0,012	0,003
BandIV/V/DVB T	0,000 159 083	0,000 086 040	0,065	0,057	BandIV/V/DVB T	0,000 159 083	0,000 086 040	0,065	0,057	BandIV/V/DVB T	0,000 135 983	0,000 085 892	0,063	0,057	BandIV/V/DVB T	0,000 135 983	0,000 085 892	0,063	0,057
LTE 800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000	0,000	LTE 800 DL	0,001 696 000	0,001 468 750	0,069	0,060	LTE 800 DL	0,001 653 917	0,001 472 850	0,067	0,060	LTE 800 DL	0,001 653 917	0,001 472 850	0,067	0,060
GSM-R DL	0,000 173 167	0,000 024 757	0,001	0,000	GSM-R UL	0,000 056 168	0,000 024 757	0,001	0,001	GSM-R UL	0,000 049 463	0,000 025 060	0,001	0,001	GSM-R UL	0,000 049 463	0,000 025 060	0,001	0,001
GSM 900					GSM-900 UL	0,000 592 967	0,000 273 250	0,013	0,006	GSM-900 UL	0,000 373 950	0,000 274 833	0,008	0,006	GSM-900 UL	0,000 373 950	0,000 274 833	0,008	0,006
GSM1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000	0,000	GSM-1800 UL	0,000 768 300	0,000 612 867	0,009	0,007	GSM-1800 UL	0,000 649 783	0,000 649 783	0,014	0,007	GSM-1800 UL	0,000 649 783	0,000 649 783	0,014	0,007
LTE1800	0,000 001 970	0,000 001 732	0,000	0,000	LTE1800					LTE1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000	0,000	LTE1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000	0,000
UMTS2100	0,000 014 350	0,000 013 431	0,000	0,000	UMTS 2100 UL	0,001 040 900	0,000 807 533	0,011	0,008	UMTS 2100 UL	0,000 982 300	0,000 813 650	0,010	0,008	UMTS 2100 UL	0,000 982 300	0,000 813 650	0,010	0,008
LTE2600	0,001 632 500	0,001 281 833	0,017	0,013	LTE 2600 UL	0,041 226 667	0,038 388 333	0,417	0,389	LTE 2600 UL	0,040 743 333	0,038 511 667	0,412	0,390	LTE 2600 UL	0,040 743 333	0,038 511 667	0,412	0,390
WLAN 2,4GHz	0,000 124 700	0,000 078 970	0,001	0,001	WLAN 2,4GHz	0,001 632 500	0,001 281 833	0,017	0,013	WLAN 2,4GHz	0,001 535 167	0,001 287 833	0,016	0,013	WLAN 2,4GHz	0,001 535 167	0,001 287 833	0,016	0,013
DECT	0,000 311 700	0,000 288 200	0,015	0,014	DECT	0,000 124 700	0,000 078 970	0,001	0,001	DECT	0,000 115 950	0,000 078 900	0,001	0,001	DECT	0,000 115 950	0,000 078 900	0,001	0,001
Others					Others	0,000 311 700	0,000 288 200	0,015	0,014	Others	0,000 309 500	0,000 288 800	0,015	0,014	Others	0,000 309 500	0,000 288 800	0,015	0,014
Gesamt Hochrechnung	0,008 239 366	0,005 671 785	0,379	0,273	Gesamt 6min	0,053 687 552	0,047 345 562	0,910	0,750	Gesamt 1min	0,052 652 497	0,047 510 308	0,876	0,747	Gesamt 1min	0,052 652 497	0,047 510 308	0,876	0,747
					Gesamt 6min ohne UP	0,036 260 568	0,031 604 782	0,660	0,529	Gesamt 1min ohne UP	0,035 369 322	0,031 695 183	0,631	0,530	Gesamt 1min ohne UP	0,035 369 322	0,031 695 183	0,631	0,530

Hochrechnung	Messung 6min				Messung 1min				Prozent % max % Avg	Leistungsfussdichte [W/m²]				Leistungsfussdichte [W/m²]				Prozent % max % Avg	
	S max	S AVG	% max	% Avg	S max	S AVG	% max	% Avg		S max	S AVG	% max	% Avg	S max	S AVG	% max	% Avg		
Band I	0,003 364 667	0,002 226 167	0,162	0,107	Band I	0,003 364 667	0,002 226 167	0,162	0,107	Band I	0,003 193 000	0,002 233 000	0,154	0,107	Band I	0,003 193 000	0,002 233 000	0,154	0,107
UKW	0,001 238 000	0,000 821 583	0,060	0,040	UKW	0,001 238 000	0,000 821 583	0,060	0,040	UKW	0,001 168 000	0,000 823 533	0,056	0,040	UKW	0,001 168 000	0,000 823 533	0,056	0,040
Band II/DAB	0,001 121 000	0,000 862 300	0,054	0,041	Band II/DAB	0,001 121 000	0,000 862 300	0,054	0,041	Band II/DAB	0,001 047 333	0,000 863 600	0,050	0,042	Band II/DAB	0,001 047 333	0,000 863 600	0,050	0,042
Tetra	0,000 000 101	0,000 000 080	0,000	0,000	Tetra UL	0,000 279 550	0,000 159 908	0,014	0,008	Tetra UL	0,000 257 783	0,000 157 772	0,013	0,003	Tetra UL	0,000 257 783	0,000 157 772	0,013	0,003
BandIV/V/DVB T	0,000 157 200	0,000 087 478	0,065	0,058	BandIV/V/DVB T	0,000 157 200	0,000 087 478	0,065	0,058	BandIV/V/DVB T	0,000 139 383	0,000 086 457	0,064	0,058	BandIV/V/DVB T	0,000 139 383	0,000 086 457	0,064	0,058
LTE 800	0,000 064 071	0,000 050 776	0,002	0,001	LTE 800 DL	0,001 738 933	0,001 510 083	0,070	0,062	LTE 800 DL	0,001 688 917	0,001 498 900	0,069	0,061	LTE 800 DL	0,001 688 917	0,001 498 900	0,069	0,061
GSM-R DL	0,000 202 267	0,000 025 168	0,001	0,000	GSM-R UL	0,000 054 063	0,000 025 168	0,001	0,001	GSM-R UL	0,000 045 992	0,000 024 978	0,001	0,001	GSM-R UL	0,000 045 992	0,000 024 978	0,001	0,001
GSM 900					GSM-900 UL	0,000 401 717	0,000 284 950	0,009	0,006	GSM-900 UL	0,000 377 783	0,000 283 400	0,008	0,006	GSM-900 UL	0,000 377 783	0,000 283 400	0,008	0,006
GSM1800	0,000 027 102	0,000 011 681	0,001	0,001	GSM-1800 UL	0,000 794 050	0,000 635 767	0,009	0,007	GSM-1800 UL	0,000 758 550	0,000 636 983	0,009	0,007	GSM-1800 UL	0,000 758 550	0,000 636 983	0,009	0,007
LTE1800	0,000 008 320	0,000 007 751	0,000	0,000	LTE1800					LTE1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000	0,000	LTE1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000	0,000
UMTS2100	0,000 070 574	0,000 060 462	0,001	0,001	UMTS 2100 UL	0,001 075 967	0,000 834 750	0,011	0,009	UMTS 2100 UL	0,001 020 633	0,000 829 417	0,010	0,008	UMTS 2100 UL	0,001 020 633	0,000 829 417	0,010	0,008
LTE2600	0,001 681 500	0,001 361 833	0,017	0,014	LTE 2600 UL	0,003 220 667	0,002 533 667	0,033	0,026	LTE 2600 UL	0,003 025 333	0,002 498 500	0,031	0,025	LTE 2600 UL	0,003 025 333	0,002 498 500	0,031	0,025
WLAN 2,4GHz	0,000 121 717	0,000 080 670	0,001	0,001	WLAN 2,4GHz	0,001 681 500	0,001 361 833	0,017	0,014	WLAN 2,4GHz	0,001 613 000	0,001 364 333	0,016	0,014	WLAN 2,4GHz	0,001 613 000	0,001 364 333	0,016	0,014
DECT	0,013 345 000	0,012 458 333	0,642	0,600	DECT	0,000 121 717	0,000 080 670	0,001	0,001	DECT	0,000 119 000	0,000 079 572	0,001	0,001	DECT	0,000 119 000	0,000 079 572	0,001	0,001
Others					Others	0,013 345 000	0,012 458 333	0,642	0,600	Others	0,013 158 333	0,012 411 667	0,633	0,597	Others	0,013 158 333	0,012 411 667	0,633	0,597
Gesamt Hochrechnung	0,021 491 646	0,018 095 885	1,010	0,866	Gesamt 6min	0,028 594 030	0,023 882 658	1,148	0,979	Gesamt 1min	0,027 613 042	0,023 792 112	1,115	0,971	Gesamt 1min	0,027 613 042	0,023 792 112	1,115	0,971
					Gesamt 6min ohne UP	0,025 772 157	0,021 746 517	1,048	0,894	Gesamt 1min ohne UP	0,024 936 668	0,021 679 305	1,018	0,892	Gesamt 1min ohne UP	0,024 936 668	0,021 679 305	1,018	0,892

Messpunkt 7									
Hochrechnung	Messung 6min			Messung 1min			Leistungsfussdichte [W/m²]		
	S max	S AVG	Prozent % max % Avg	S max	S AVG	Prozent % max % Avg	S max	S AVG	Prozent % max % Avg
Band I	0,003 932 000	0,002 449 000	0,189 0,118	Band I	0,003 932 000	0,002 449 000	0,003 932 000	0,002 457 167	0,166 0,118
UKW	0,001 373 333	0,000 931 283	0,066 0,045	UKW	0,001 373 333	0,000 931 283	0,001 373 333	0,000 928 533	0,064 0,045
Band II/DAB	0,001 262 833	0,000 973 117	0,061 0,047	Band II/DAB	0,001 262 833	0,000 973 117	0,001 232 167	0,000 984 100	0,059 0,047
Tetra	0,000 000 220	0,000 000 175	0,000 0,000	Tetra UL	0,000 315 333	0,000 176 657	0,000 283 183	0,000 179 807	0,014 0,004
BandIV/V/DVB T	0,000 165 300	0,000 089 652	0,073 0,065	BandIV/V/DVB T	0,000 165 300	0,000 089 652	0,000 143 750	0,000 090 722	0,072 0,065
LTE 800	0,000 000 002	0,000 000 000	0,000 0,000	LTE 800 DL	0,001 912 200	0,001 673 583	0,001 877 133	0,001 676 950	0,076 0,069
GSM-R DL	0,000 196 367	0,000 029 933	0,001 0,000	GSM-R UL	0,000 066 965	0,000 029 933	0,001 001	0,000 030 000	0,001 0,001
GSM 900				GSM-900 UL	0,000 414 850	0,000 297 717	0,009 0,007	0,000 386 583	0,009 0,007
GSM1800	0,000 001 958	0,000 001 289	0,000 0,000	GSM-1800 UL	0,000 866 767	0,000 693 500	0,010 0,008	0,000 693 450	0,010 0,008
LTE1800	0,000 002 678	0,000 002 300	0,000 0,000	LTE1800			0,000 000 000	0,000 000 000	0,000 0,000
UMTS2100	0,000 205 810	0,000 152 937	0,002 0,002	UMTS 2100 UL	0,001 675 067	0,001 067 983	0,017 0,011	0,001 520 683	0,001 090 617
LTE2600				LTE 2600 UL	0,003 555 500	0,002 790 500	0,036 0,028	0,003 392 167	0,002 803 500
WLAN 2,4GHz	0,001 924 667	0,001 525 333	0,019 0,015	WLAN 2,4GHz	0,001 924 667	0,001 525 333	0,019 0,015	0,001 840 000	0,001 535 500
DECT	0,000 147 517	0,000 094 877	0,002 0,001	DECT	0,000 147 517	0,000 094 877	0,002 0,001	0,000 140 783	0,000 096 282
Others	0,014 818 333	0,013 830 000	0,713 0,666	Others	0,014 818 333	0,013 830 000	0,713 0,666	0,013 903 333	0,013 903 333
Gesamt Hochrechnung	0,024 038 823	0,020 084 630	1,126 0,959	Gesamt 6min	0,032 430 665	0,026 623 135	1,290 1,088	0,031 240 737	0,026 768 360
				Gesamt 6min ohne UP	0,029 290 690	0,024 251 487	1,177 0,994	0,028 230 310	0,024 382 558
Messpunkt 8									
Hochrechnung	Messung 6min			Messung 1min			Leistungsfussdichte [W/m²]		
	S max	S AVG	Prozent % max % Avg	S max	S AVG	Prozent % max % Avg	S max	S AVG	Prozent % max % Avg
Band I	0,000 081 913	0,000 053 828	0,004 0,003	Band I	0,000 081 913	0,000 053 828	0,000 074 137	0,000 053 358	0,004 0,003
UKW	0,000 031 165	0,000 020 358	0,001 0,001	UKW	0,000 031 165	0,000 020 358	0,000 028 417	0,000 020 403	0,001 0,001
Band II/DAB	0,000 026 785	0,000 020 610	0,001 0,001	Band II/DAB	0,000 026 785	0,000 020 610	0,000 025 605	0,000 020 657	0,001 0,001
Tetra	0,000 000 893	0,000 000 655	0,000 0,000	Tetra UL	0,000 008 288	0,000 004 481	0,000 000 7656	0,000 004 486	0,000 0,000
BandIV/V/DVB T	0,000 005 056	0,000 002 731	0,002 0,001	BandIV/V/DVB T	0,000 005 056	0,000 002 731	0,000 004 733	0,000 002 718	0,002 0,001
LTE 800	0,000 033 881	0,000 026 333	0,001 0,001	LTE 800 DL	0,000 060 232	0,000 041 948	0,000 036 450	0,000 041 026	0,002 0,002
GSM-R DL	0,000 020 625	0,000 000 581	0,000 0,000	GSM-R UL	0,000 001 329	0,000 000 581	0,000 001 132	0,000 000 585	0,000 0,000
GSM 900				GSM-900 UL	0,000 047 409	0,000 020 489	0,001 0,000	0,000 020 243	0,001 0,000
GSM1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000 0,000	GSM-1800 UL	0,000 017 655	0,000 013 972	0,000 0,000	0,000 014 029	0,000 0,000
LTE1800	0,000 000 000	0,000 000 000	0,000 0,000	LTE1800			0,000 000 000	0,000 000 000	0,000 0,000
UMTS2100	0,000 028 378	0,000 018 980	0,000 0,000	UMTS 2100 UL	0,000 062 590	0,000 023 502	0,001 0,000	0,000 022 429	0,000 0,000
LTE2600				LTE 2600 UL	0,000 071 967	0,000 055 368	0,001 0,001	0,000 067 865	0,000 055 428
WLAN 2,4GHz	0,000 037 967	0,000 029 995	0,000 0,000	WLAN 2,4GHz	0,000 037 967	0,000 029 995	0,000 035 440	0,000 030 123	0,000 0,000
DECT	0,000 002 742	0,000 001 774	0,000 0,000	DECT	0,000 002 742	0,000 001 774	0,000 002 523	0,000 001 816	0,000 0,000
Others	0,000 312 133	0,000 288 850	0,015 0,014	Others	0,000 312 133	0,000 288 850	0,015 0,014	0,000 289 650	0,015 0,014
Gesamt Hochrechnung	0,000 712 955	0,000 533 612	0,032 0,025	Gesamt 6min	0,000 767 230	0,000 578 489	0,029 0,024	0,000 700 000	0,000 576 952
				Gesamt 6min ohne UP	0,000 697 776	0,000 529 825	0,027 0,021	0,000 638 031	0,000 528 198

11. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wien, den 15. Juni. 2016

Robert Loikasek